

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сыктывкарский лесной институт – филиал государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования «Санкт-Петербургская государственная
лесотехническая академия имени С. М. Кирова»

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

**МЕХАТРОННАЯ ТЕХНИКА
В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ**

**ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ
220301 «АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ»**

Самостоятельное учебное электронное издание

Сыктывкар 2011

УДК 681.51 (075.8)
ББК 32.965я73
М55

Рассмотрено и рекомендовано к изданию в электронном виде кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Сыктывкарского лесного института.

Утверждено к изданию в электронном виде советом лесотранспортного факультета Сыктывкарского лесного института

Составитель: **Д. П. Гераськин**, кандидат технических наук, доцент

Рецензент: **Е. Ю. Сундуков**, кандидат экономических наук, научный сотрудник (Коми НЦ УрО РАН)

**МЕХАТРОННАЯ ТЕХНИКА В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗАЦИИ
М55 ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ** [Электронный ресурс] : пособие для студентов специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств» : самост. учеб. электрон. изд. / сост. Д. П. Гераськин ; Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон. дан. (1 файл в формате pdf : 2,5 Мб). – Сыктывкар : СЛИ, 2011. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>. – Загл. с экрана.

УДК 681.51 (075.8)
ББК 32.965я73

Рассмотрен принцип автоматизации производственных технологических процессов на основе использования мехатронной техники. Представлены общие принципы построения мехатронных систем, рассмотрены примеры применения мехатронной техники в задачах автоматизации производственных процессов.

Для студентов указанной специальности в помощь при изучении дисциплин «Введение в специальность», «Технические средства автоматизации», «Автоматизация технологических процессов».

Самостоятельное учебное электронное издание

Составитель: **Гераськин Дмитрий Петрович**

**МЕХАТРОННАЯ ТЕХНИКА В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Электронный формат – pdf

Разрешено к публикации 26.01.11. Объем 3,0 уч.-изд. л.; 2,5 Мб.

Сыктывкарский лесной институт – филиал государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия имени С. М. Кирова» (СЛИ), 167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39
institut@sfi.komi.com, www.sli.komi.com

Редакционно-издательский отдел СЛИ. Заказ № 110.

© СЛИ, 2011
© Д. П. Гераськин, составление, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕХАТРОННОЙ ТЕХНИКИ.....	5
2. ОСОБЕННОСТИ МЕХАТРОННОЙ ТЕХНИКИ	10
3. СТРУКТУРА МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ	13
4. МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ ДВИЖЕНИЯ	16
5. ТИПОВАЯ СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	19
6. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ.....	23
7. ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ ДВИЖЕНИЯ.....	29
8. МЕХАТРОННАЯ ФРЕЗЕРНАЯ СИСТЕМА.....	40
9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	46
10. МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ КАК ОСНОВА ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	55

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из направлений автоматизации производственных технологических процессов является использование мехатронных систем, построенных на принципах интеграции механики, электроники и информатики. С помощью мехатронных систем (МС) осваиваются новые технологические процессы, освобождающие людей от многих видов утомительного, однообразного и тяжелого ручного труда, в том числе и во вредных для здоровья условиях. При этом развиваются и сами мехатронные системы – разрабатываются и используются новые технологии для построения и управления МС, совершенствуется элементная база, применяются подходы, позволяющие создавать интеллектуальные системы.

В предлагаемом пособии рассматриваются значение, принципы построения и примеры применения мехатронных систем в задачах автоматизации производственных технологических процессов.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕХАТРОННОЙ ТЕХНИКИ

В настоящее время во всем мире развивается такая отрасль науки и техники как *мехатроника*, которая меняет взгляд на технологические науки, переводя их на системный уровень [1].

Основными компонентами мехатронной системы являются *механизм и автоматическая система управления*, содержащая, как правило, микроЭВМ или комплекс микропроцессоров, а также сенсорные устройства (средства очувствления), причем механизм системы движется по определенной программе с помощью управляемых приводов (рис. 1).

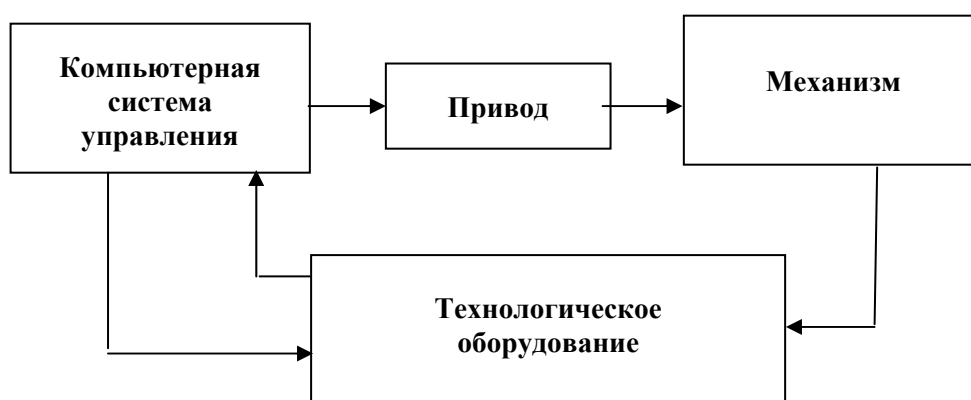


Рис. 1. Схема промышленной мехатронной системы

В последнее время все чаще возникает потребность в создании технических систем и устройств, обладающих наряду с высокими техническими характеристиками способностью к «интеллектуализации» своей функциональной деятельности. Развитие современных средств микроэлектроники позволило сократить размеры и массу электронных элементов, способных выполнять сложные логические и усилительные операции. Интегральное их исполнение повышает надежность функционирования оборудования в условиях эксплуатации. Так же как изобретение электродвигателя привело к замене механических устройств более прогрессивными электромеханическими, так и создание современных средств микроэлектроники привело к применению устройств и систем с интеграцией в ограниченном объеме информационных, управляющих, силовых и исполнительных элементов. Терминологически такие системы в мире получили название мехатронные.

Термин «мехатроника» впервые появился в Японии в 1984 году, когда инженеры применили его к указанным выше системам, а потом сами же удивлялись довольно быстрому признанию во всем мире [2].

Термин "мехатроника" (англ. mechatronics) объединяет понятия "МЕХАнизм" и "элекТРОНИКА". Под первой частью термина подразумевают механику. Что касается второй части, то в ней, в первую очередь, учитываются достижения микроэлектроники и информатики, которые воплотились в создание микрокомпьютеров. Таким образом, имеет место объединение механики и электроники: механика – это наука о движении, электроника является основой компьютерной индустрии. В связи с этим, *мехатроника – это компьютерное управление движением*.

В более широком представлении под мехатроникой следует понимать не только компьютерное управление механических устройств, но научно-техническое направление по созданию и эксплуатации таких управляемых технических систем, в которых должно быть осуществлено неразделимое единство механических и микроэлектронных элементов. Таким образом, мехатронику следует рассматривать как двуединство науки и техники.

Общее определение мехатроники дано в Государственном образовательном стандарте РФ высшего профессионального образования (2000 г.): «Мехатроника – это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем, машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями».

В данном определении особо подчеркнута сущность мехатронных систем (МС), в основу построения которых заложена идея глубокой взаимосвязи механических, электронных и компьютерных элементов.

Приведем также специальные термины, используемые в мехатронике [3].

Мехатронная система – множество механических, процессорных, электронных и электротехнических компонентов, находящихся в связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство.

Мехатронный объект – предмет (изделие), представляющий собой машину с компьютерным управлением как мехатронную систему устройств, самостоятельно функционирующую в соответствии с целевым назначением.

Мехатронный модуль – мехатронный узел (устройство), состоящее из интегрированного сочетания нескольких элементов, оформленный конструктивно как самостоятельное изделие и выполняющий определенную функцию в различных мехатронных объектах.

Исполнительный орган – функциональная часть мехатронного устройства, предназначенная для выполнения действий по сигналам от системы управления.

Рабочий орган – устройство, предназначенное для реализации технологического назначения объекта.

Мехатронный комплекс – совокупность связанных между собой мехатронных объектов, предназначенная для осуществления действий, определяемых общим целевым назначением.

Основные идеи мехатроники начали формироваться по мере того, как в состав обычных машин, состоящих из разнообразных механизмов, стали входить электронные устройства [4]. Эти устройства преобразили облик машин, расширили их функции и положили начало новому этапу в машиностроении. В настоящее время в мехатронике основную роль играют программируемые интегральные схемы, среди которых особое место занимают микропроцессоры. Кроме них большое внимание уделяют разработке и использованию малогабаритных электрических и электромагнитных приборов (преобразователей, делителей напряжения и тока, электродвигателей и др.), а на основе достижений теории и практики сервомеханизмов – созданию прецизионных малогабаритных электромеханических, гидравлических и пневматических приводов. Развитие мехатроники заставляет решать новые научные проблемы и приводит к возникновению новых научно-технических направлений. В частности, важное значение приобретает изучение принципов построения датчиков информации о среде – *сенсоров*. Совершенно по-новому встает проблема организации управления совокупностью разнородных механических, электрических, электронных устройств и систем, которые сложным образом взаимодействуют между собой.

Промышленная мехатроника включает в себя автоматизацию планирования управления предприятием, промышленную автоматику

и робототехнику, а также автоматизацию диспетчерских и транспортных служб предприятия. Снижение стоимости продукции при одновременном повышении ее качества, а также другие преимущества использования мехатронной техники, значительно увеличили эффективность производства и обеспечили рост прибыли.

Важно, что с момента своего появления идеи мехатроники оказывают значительное влияние на само производство. Первые промышленные мехатронные системы работали по так называемой жесткой программе. По мере развития в мехатронике начинают применяться различные встроенные микропроцессорные устройства. В результате создаются перепрограммируемые промышленные мехатронные системы и системы с обратной связью. В механообрабатывающих отраслях появляются станки с числовым программным управлением (ЧПУ), работающие по программам, предварительно полученным с помощью ЭВМ. Вслед за станками ЧПУ создаются первые крупные гибкие производственные системы (ГПС), способные в короткие сроки перестраиваться с выпуска продукции одного вида на выпуск продукции другого вида. Современные мехатронные системы работают по гибкой программе и способны автономно выполнять большое количество операций, причем выбор необходимой рабочей программы осуществляется автоматически с помощью встроенных микропроцессоров.

"От механики к мехатронике" – такой формулой может быть сформулирована основная тенденция в современном машиностроении, которая появилась в 80-х гг. XX века [5]. Мехатронный подход в построении машин нового поколения заключается в переносе функциональной нагрузки от механических узлов к «интеллектуальным» (электронным, компьютерным и информационным) компонентам, которые легко перепрограммируются под новую задачу и при этом являются относительно дешевыми. Так, функциональный анализ производственных машин показывает, что доля механической части сократилась с 70 % в начале 90-х гг. до 25–30 % в настоящее время. Принципиально важно подчеркнуть, что мехатронный подход к проектированию предполагает не расширение, а именно замещение функций, традиционно выполняемых механическими элементами системы, на электронные и компьютерные блоки.

На рис. 2 представлен характерный график, который отражает динамику этого процесса в производственных машинах за 30 лет, на-

чиная с 70-х гг. Анализ показывает, что еще в начале 90-х гг. подавляющее большинство функций машины (более 70%) реализовывалось механическим путем. В последующее десятилетие происходило постепенное вытеснение механических узлов – сначала электронными, а затем и компьютерными блоками. В настоящее время в мехатронных системах объем функций распределен между механическими, электронными и компьютерными компонентами практически поровну.

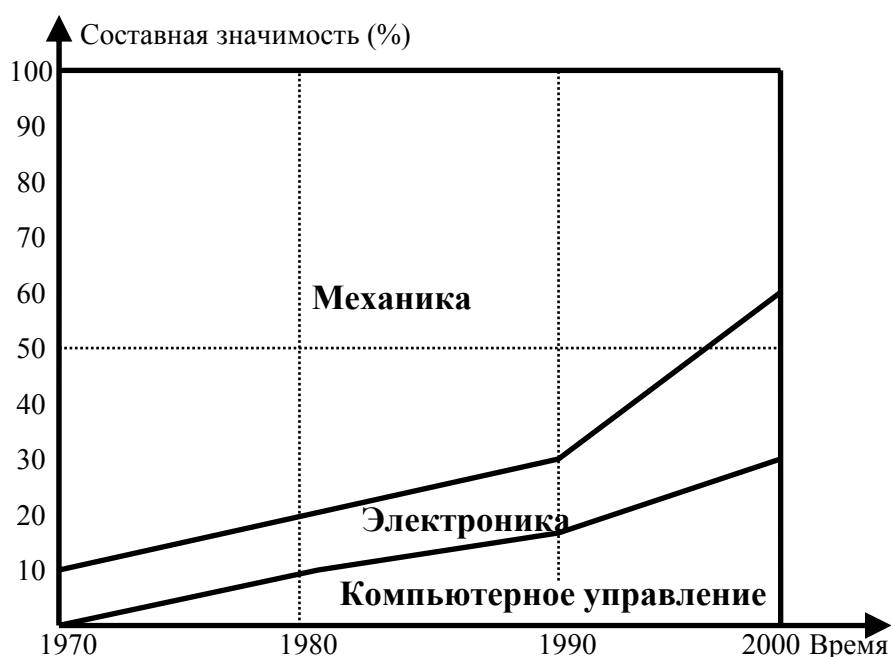


Рис. 2. Динамика процесса замещения механических элементов на электронные и компьютерные блоки

2. ОСОБЕННОСТИ МЕХАТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Рассмотрим качественно новые требования, предъявляемые к функциональным характеристикам приводной техники для технологических машин. К их числу в первую очередь следует отнести:

- сверхвысокие скорости движения рабочих органов машин, которые определяют новый уровень производительности технологических комплексов;
- сверхвысокую точность движений, необходимую для реализации прецизионных технологий;
- максимальную компактность конструкции и минимизацию массогабаритных показателей модулей;
- интеллектуальное поведение машин, функционирующих в изменяющихся и неопределенных внешних средах;
- реализацию быстрых и точных перемещений рабочих органов по сложным контурам и поверхностям;
- существенное расширение технологических и функциональных возможностей оборудования, желательно без увеличения его цены;
- способность системы к реконфигурации в зависимости от выполняемой конкретной задачи или операции;
- высокую надежность и безопасность функционирования.

Передовой мировой уровень в области станкостроения можно оценить по новейшим образцам оборудования. Так, в 2002 году в Японии на международной выставке были представлены станки для металлообработки, приводные системы которых обеспечивали следующие характеристики:

- скорость рабочих подач до 15 м/мин;
- скорость холостого хода до 200 м/мин;
- ускорение приводов при разгоне до 3g;
- точность обработки порядка 2–3 мкм;
- число одновременно управляемых осей до 20 в одном обрабатывающем комплексе.

К главным преимуществам МС относятся:

- упрощение кинематических цепей, высокая точность и улучшенные динамические характеристики машин и модулей;
- конструктивная компактность модулей и, следовательно, улучшенные массогабаритные характеристики машин;

- возможность объединения мехатронных модулей в сложные мехатронные системы и комплексы, допускающие быструю реконфигурацию;
- относительно низкая стоимость установки, настройки и обслуживания системы благодаря модульности конструкции, унификации аппаратных и программных платформ;
- способность выполнять сложные движения за счет применения методов адаптивного и интеллектуального управления.

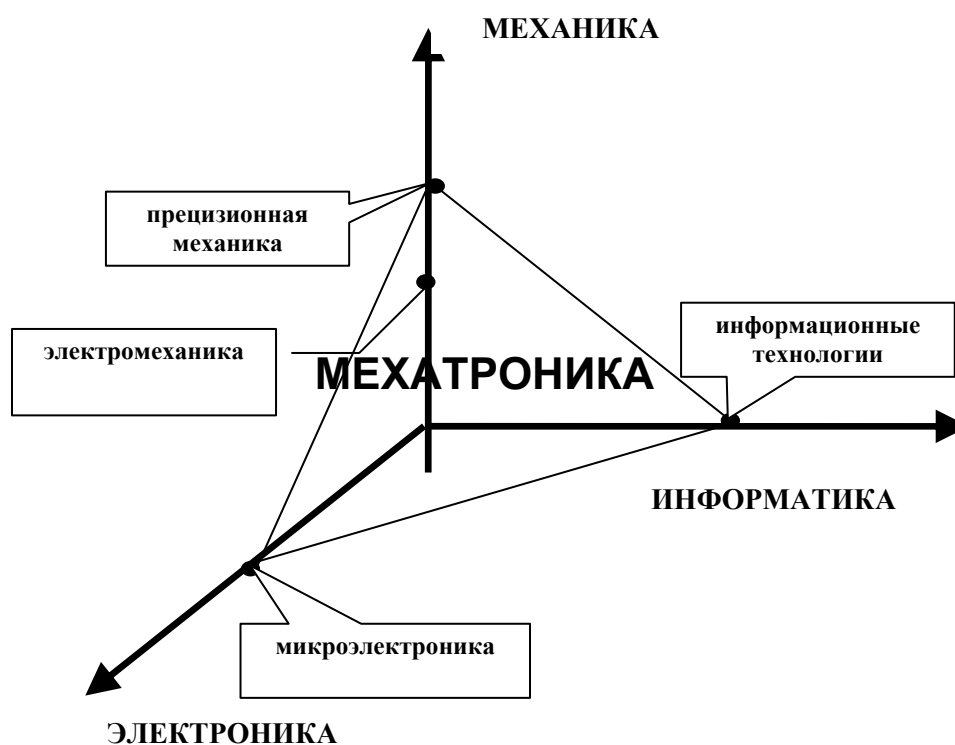


Рис. 3. Структурный базис мехатроники

Отметим, что развитие машин от традиционной механики к современной мехатронике проходит последовательно ряд стадий. Первый этап – это разработка электромеханических систем путем объединения в приводе электрического двигателя и механической передачи (как правило, редуктора) с электронными блоками. В структурном базисе мехатроники (рис. 3) электромеханика показана как одна из граней "Пирамиды мехатроники".

Исторически мехатроника развилась из электромеханики и, опираясь на ее достижения, идет дальше путем системного объединения электромеханических систем с компьютерными устройствами управления, встроенными датчиками и интерфейсами.

Рассматривая эффективность использования промышленных мехатронных систем, а также разнообразные последствия, связанные с их внедрением, необходимо отметить следующие факты:

1) повышается конкурентоспособность предприятия за счет того, что оно может в соответствии с колебаниями спроса легко переоборудовываться с выпуска одного вида продукции на другой, обеспечивая при этом высокое качество всех изделий;

2) производство становится более экономичным;

3) растет производительность труда;

4) улучшаются условия труда, что происходит в результате использования промышленных МС для выполнения операций при высоком уровне загрязненности, влажности, шума, при высокой температуре, в химически активных средах, а также при других вредных или опасных обстоятельствах.

При этом необходимо учитывать следующие факторы:

1) необходимость обеспечения безопасности производства;

2) необходимость учета социальных и психологических факторов для всех категорий служащих;

3) изменения кадрового состава и связанные с ними вопросы обучения и переквалификации персонала.

Промышленные мехатронные системы приносят с собой три потенциальных источника опасности:

1) рабочий орган МС, в частности, манипулятор робота представляет собой многосвязный механизм весьма значительных размеров, который обладает несколькими степенями подвижности и перемещается со сравнительно высокими скоростями, поэтому при столкновении с ним рабочий может получить серьезную травму;

2) мехатронная техника управляется от встроенных микропроцессоров; если при этом в управляющую программу вкралась ошибка, повреждение, либо произошел сбой в микросхемах, поведение системы окажется непредсказуемым;

3) при выполнении технического обслуживания МС рабочий вынужден находиться в непосредственной близости от системы; помимо опасности от расположенных рядом мощных источников тока остаются и опасности рассмотренных выше двух типов.

Важно отметить, что при автоматизации технологических производственных процессов посредством использования мехатронной техники вопросы безопасности должны всегда оставаться на первом месте.

3. СТРУКТУРА МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ

Структура и состав программно-аппаратного обеспечения систем управления МС определяются целым рядом взаимосвязанных факторов, обусловленных назначением того или иного образца, необходимым уровнем автономности и надежности ее функционирования, требованиям к эксплуатации и т. д. [6].

Высокая точность, предельное быстродействие, сложные законы перемещения рабочего органа в пространстве и во времени – совокупность этих требований определяется технологической постановкой задачи управления. Кроме того, необходимо координировать управление пространственным перемещением МС с управлением различными внешними процессами. Примерами таких процессов могут служить: регулирование силового взаимодействия рабочего органа с объектом работ при механообработке; управление дополнительными технологическими воздействиями (тепловыми, электрическими, электрохимическими) на объект работ при комбинированных методах обработки; управление вспомогательным оборудованием комплекса (конвейерами, загрузочными устройствами). Такие сложные координированные движения МС называются *функциональными движениями*.

На рис. 4 представлена обобщенная структура МС.

В процессе движения механического устройства рабочий орган машины непосредственно воздействует на объект работ и обеспечивает качественные показатели выполняемой автоматизированной операции. Таким образом, механическая часть является в МС объектом управления. В процессе выполнения МС функционального движения внешние объекты оказывают возмущающие воздействия именно на рабочий орган, который является конечным звеном механической части. Примерами таких воздействий могут служить силы резания в операциях механообработки, контактные силы и моменты сил при формообразовании и сборке. Следовательно, проектирование блока приводов, компьютерной системы управления и выбор сенсорных устройств МС должен начинаться с анализа свойств механической подсистемы как управляемого объекта и расчета возмущающих воздействий, обусловленных выполняемой МС технологической операцией.

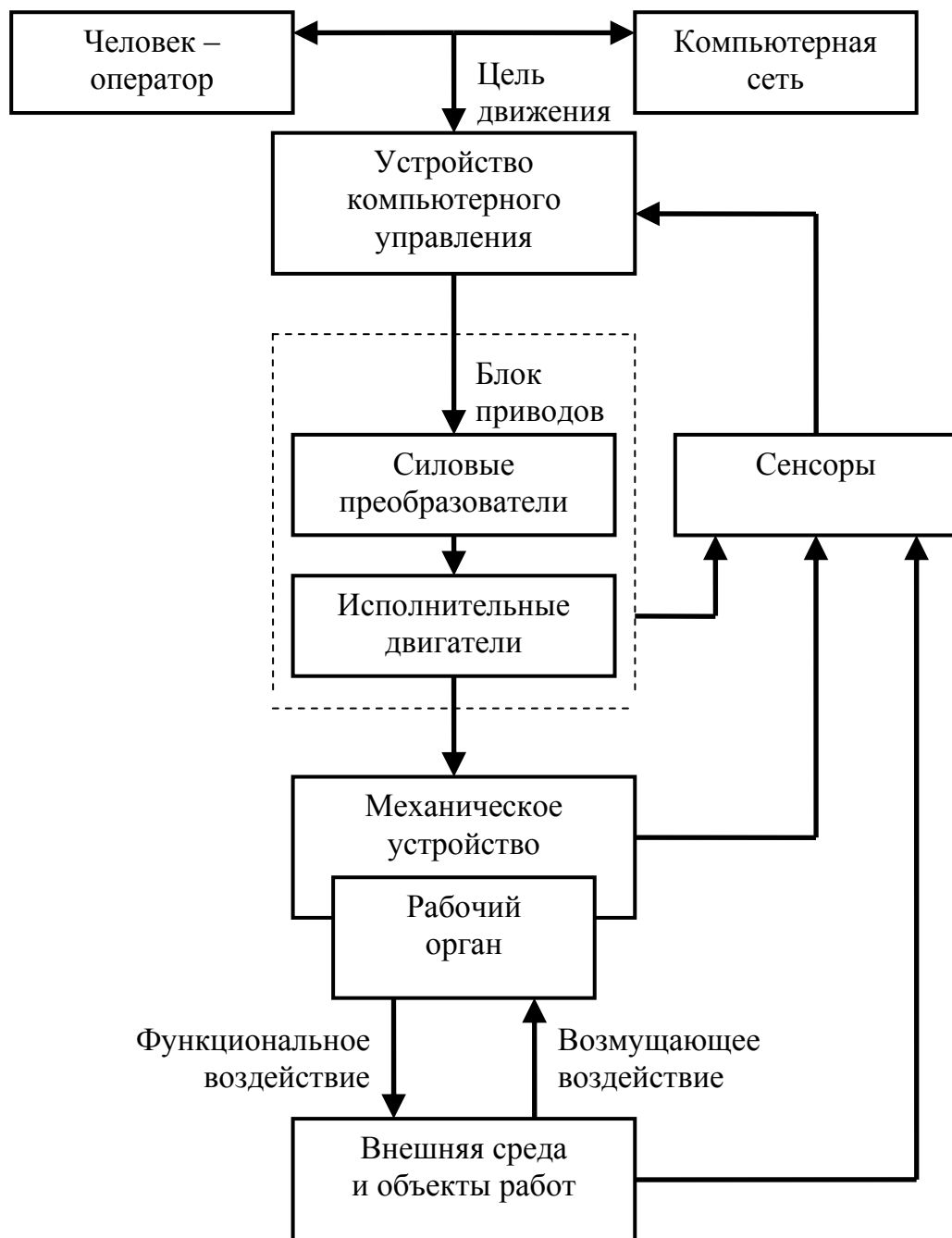


Рис. 4. Обобщенная структура МС

Проектирование современных МС основано на модульных принципах и технологиях. Мехатронные модули (ММ) служат в качестве конструктивных "кубиков" при компоновке многомерных мехатронных машин и комплексов. Техничко-экономическая эффективность модульных технологий проектирования определяется следующими основными факторами:

- сокращением сроков и трудоемкости проектирования многокоординатных мехатронных машин, относительно низкой ценой благодаря высокому уровню унификации и стандартизации элементов и интерфейсов;

- возможностью быстрой реконфигурации системы в специализированную машину под конкретную технологическую задачу без функциональной избыточности;

- повышенной надежностью и ремонтпригодностью сложных комплексов при эксплуатации за счет того, что модули являются объектом серийного производства.

Встроенные «интеллектуальные» устройства, реализованные на новой элементной базе, позволяют получать компактные и надежные мехатронные узлы и строить на их основе многокоординатные МС с децентрализованным управлением. Но важно подчеркнуть, что применение мехатронных модулей, особенно со встроенными электронными и управляющими устройствами, должно быть технологически и экономически обосновано для каждого конкретного приложения.

4. МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ ДВИЖЕНИЯ

Механическим модулем движения (ММД) называют исполнительное звено мехатронной системы, если в ее состав входит механический объект регулирования (ОР).

Одной из концепций современного станкостроения является создание оборудования с параллельной кинематической структурой, при этом элементной базой для станков с параллельной структурой являются мехатронные модули движения [7]. Мехатронный модуль можно рассматривать и как элемент электромеханического преобразования и как элемент динамической системы станка. Модули подразделяются по типу исполнительного блока и по виду системы управления (рис. 5).

Исполнительные блоки – это узлы, обеспечивающие определенную степень подвижности рабочим органам станка. Они подразделяются на блоки главного движения, подачи и вспомогательных перемещений. По типу движений они делятся на модули вращательного движения и модули линейного движения.

Блоки главного движения выполняются в виде мотор-шпинделя и мотор-редуктора. Мотор-шпиндель представляет собой шпиндельный станочный узел, на валу которого смонтирован ротор приводного двигателя вращения. Типовым решением его является электрошпиндель, представляющий собой регулируемый электродвигатель, непосредственно к валу которого крепится режущий инструмент или деталь. Исполнительные блоки подачи и вспомогательных перемещений могут быть выполнены в виде мотор-редукторов, модулей линейного движения и законченных станочных узлов.

Мотор-редуктор – электродвигатель со встроенным планетарным или волновым механизмом.

Модули линейного движения выполняются на базе плоских и пазовых линейных двигателей.

Станочные узлы выполняются в виде координатных и координатно-силовых столов со встроенным линейным двигателем, поворотных столов, на валу которых смонтирован ротор двигателя вращения, плансуппортов для внутренней расточки и объемной обработки со встроенными двигателями, электромеханических инструментальных и револьверных головок, шарнирных узлов со встроенными двигателями.

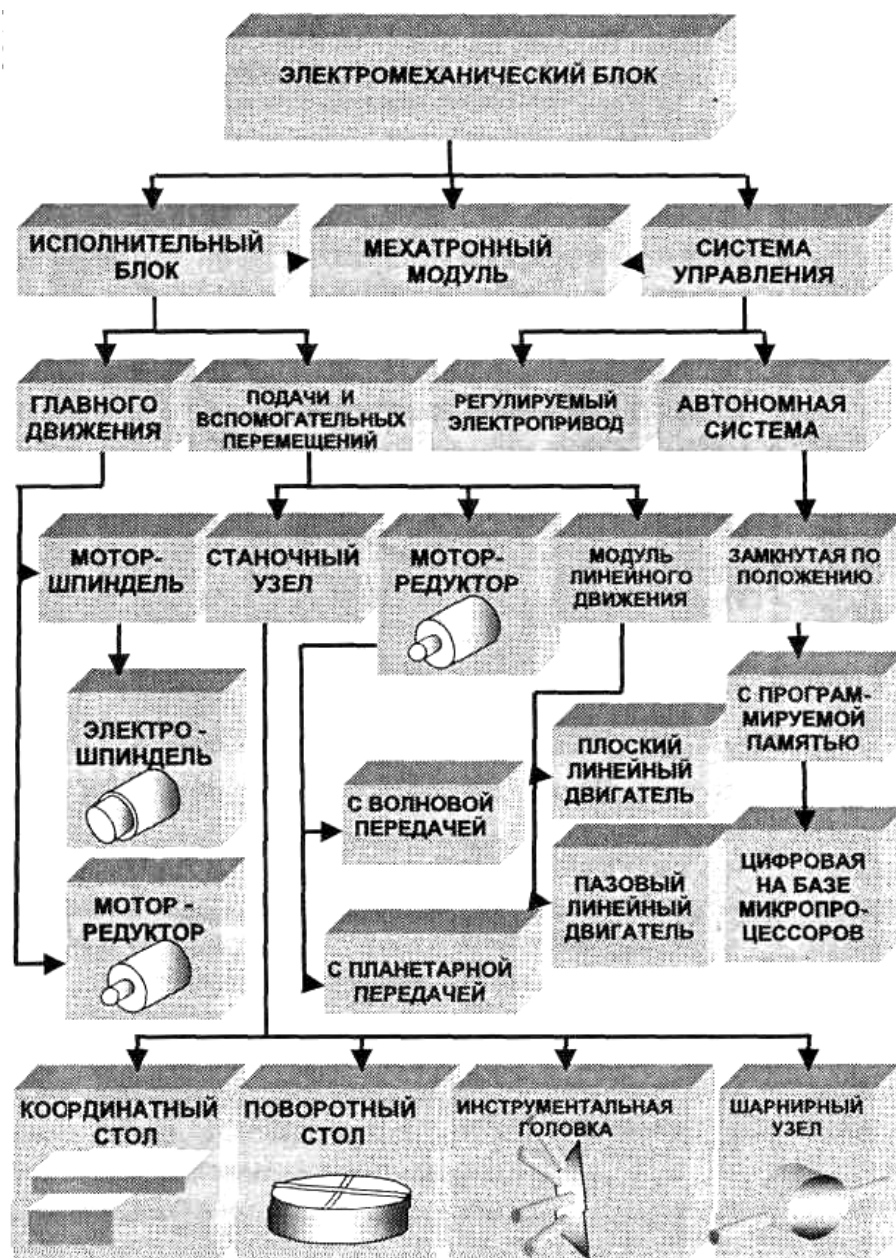


Рис. 5. Классификация мехатронных модулей движения

Технические характеристики мехатронных модулей подразделяют на следующие группы:

1) *основные электромеханические характеристики*: мощность, момент, частота вращения, скорость линейного перемещения, дискретность углового и линейного перемещений, тяговая сила, скорость линейного перемещения;

2) *основные технологические характеристики*: геометрические характеристики рабочего пространства и посадочные и габаритные размеры, длина рабочего хода линейного механизма, диаметр поворотного стола и др.;

3) *дополнительные технологические характеристики*: наличие устройств подачи охлаждающей жидкости в зону резания, крепления детали (инструмента), встроенного принудительного охлаждения, контроля геометрии обрабатываемой детали и др.

Принципиальной особенностью при разработке мехатронных модулей применительно к металлорежущему оборудованию является необходимость рассматривать их функционально и как станочный узел, и как автоматизированный электропривод, и как средство автоматизации технологического процесса металлообработки. Исходя из этого, работоспособность модулей характеризуется совокупностью свойств, приведенных в табл. 1.

Таблица 1. Свойства работоспособности мехатронных модулей

Функциональный признак	Свойства работоспособности
Мехатронный модуль как станочный узел	<ul style="list-style-type: none"> * статические, динамические и температурные деформации и их влияние на точность металлообработки * упругость механических звеньев, зазоры в со-пряжениях * технологическая ориентированность станочно-го узла и принадлежность к группе станков (то-карная, сверлильно-фрезерная расточная и др.)
Мехатронный модуль как авто-матизированный электропривод	<ul style="list-style-type: none"> * силовые параметры (мощность, момент, разви-ваемая тяговая сила, перегрузочная способность) * скоростные параметры (частота вращения, ли-нейная скорость) * координатные параметры (угловое и линейное положение) * статические и динамические характеристики * энергетические характеристики (потребляемая мощность, КПД и др.)
Мехатронный модуль как сред-ство автоматизации	<ul style="list-style-type: none"> * обеспечение режимов регулирования скорости, позиционирования, следящих режимов * обеспечение режимов программирования, са-мообучения, самонастройки и др. * обеспечение режимов оптимизации процессов * реализация «интеллектуальных» функций

5. ТИПОВАЯ СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Современные технологические комплексы можно рассматривать как автоматизированные технологические комплексы (АТК) [8]. В соответствии с технологическим процессом работа АТК определяется задающей программой. Осуществляются: контроль и регулирование электромагнитных, механических, технологических переменных, показателей качества готовой продукции; автоматическая оптимизация обобщенных показателей качества работы АТК; контроль состояния электротехнического, механического и технологического оборудования.

Функциональная схема современного АТК приведена на рис. 6.

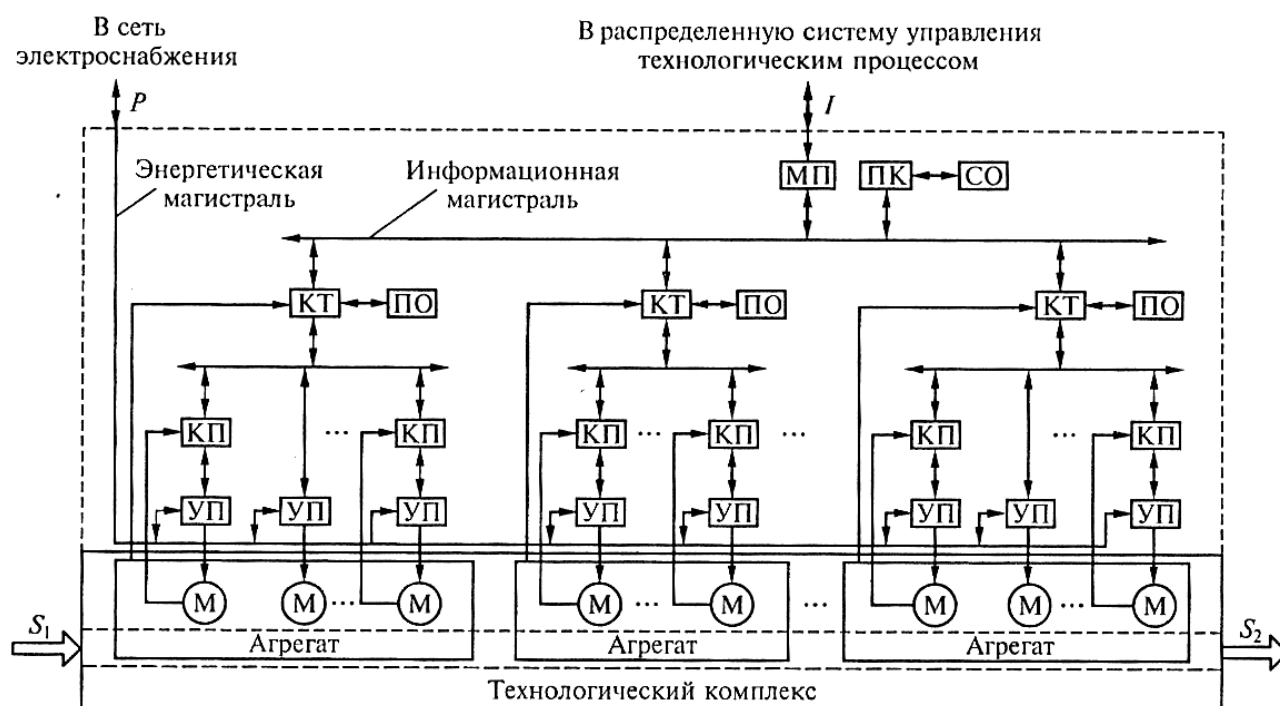


Рис. 6. Функциональная схема автоматизированного технологического комплекса

Механизмы (исполнительные органы рабочей машины) оснащаются индивидуальными электроприводами с электродвигателями (М), управляемыми преобразователями (УП), программируемыми микроконтроллерами приводов (КП). Совместную работу приводов и механизмов, входящих в состав технологического агрегата, координи-

нирует технологический программируемый микроконтроллер (КТ). Координацию совместной работы агрегатов технологического комплекса выполняет один из микроконтроллеров КТ или специализированный персональный компьютер (ПК), входящий в состав станции оператора (СО). Через магистральный преобразователь (МП) осуществляется связь АТК с распределенной системой управления технологическим процессом. Микроконтроллеры (далее контроллеры) взаимодействуют через коммуникационную связь, структура которой в соответствии с существующими стандартами по промышленным сетям средств вычислительной техники может быть различной. Контроль агрегатов и управление ими могут осуществляться с периферийных пультов операторов (ПО).

Контроллер привода осуществляет:

- управление силовой частью УП;
- регулирование момента электродвигателя, скорости и положения механизма;
- программно-логическое управление пуском, остановом и режимом рабочего функционирования привода;
- автоматическую настройку регуляторов в режиме наладки;
- контроль состояния и диагностирования неисправностей в компонентах электропривода;
- защиту и сигнализацию электропривода.

Технологический контроллер обеспечивает:

- выработку заданий на КП в соответствии с координированной работой приводов агрегата;
- программно-логическое управление пуском, остановом и режимом рабочего функционирования агрегата;
- регулирование технологических переменных;
- контроль состояния и диагностирования неисправностей в компонентах агрегата.

Компьютерные системы управления электроприводами, механизмами, технологическими агрегатами и комплексами выполняются по единой идеологии с гибким варьированием аппаратных и программных средств. В общем случае в состав систем входят: программируемые контроллеры, модули «интеллектуальной» периферии, системы визуализации и обслуживания, средства коммутаций, программаторы (ПГ), персональные компьютеры.

Контроллеры могут иметь разную конструкцию, но всегда пре-

дусматривается возможность варьирования их конфигурации благодаря применению устройств расширения и периферийных модулей. Основой контроллера является центральный блок, содержащий центральный процессор и блок питания. В зависимости от задач автоматизации на системной шине контроллера могут монтироваться различные периферийные модули: цифровых и аналоговых вводов/выводов, предварительной обработки сигналов, коммуникационных процессоров. Предусматривается возможность варьирования разных типов центральных процессоров, блоков питания, периферийных модулей. Для объектов, требующих повышенной надежности работы, используются контроллеры, состоящие из двух или трех центральных блоков с процессорами резервного действия. Программа пользователя для таких контроллеров такая же, как и для обычных.

Модули интеллектуальной периферии решают специальные задачи пользователя по измерению, оценке, регулированию, стабилизации, позиционированию и др. Они «интеллектуальны», так как обладают собственными процессорами и решают самостоятельно в реальном времени специализированные задачи управления. Их периферийность определяется тем, что с управляемым процессом они непосредственно связаны через собственные входы/выходы, благодаря чему центральный процессор не перегружается и за необходимое время выполняет собственные задачи.

Системы визуализации и обслуживания включают в себя средства от простых дисплеев до информационных систем. Получили распространение следующие системы:

- панели оператора, предназначенные для отображения управляемого процесса, ввода и вывода данных и наладки; содержат дисплеи и клавиатуру, конструктивно размещенные в одном корпусе;
- программируемые терминалы, представляющие собой электролюминесцентные графические терминалы с активным экраном, на котором можно гибко менять клавиатуру;
- локальные системы визуализации и обслуживания с различными функциональными возможностями (от кратковременного или долгосрочного архивирования измеряемых величин до систем с объектно-ориентированными оболочками проектирования и обслуживания) и интегрированные в другие системы; представляют собой автоматизированные рабочие места (АРМ) на базе ПК;
- центральные системы визуализации и обслуживания с высокими функциональными возможностями и, расширяющимися от АРМ до

скоординированных многопользовательских и многотерминальных систем.

Программаторы и ПК используются в системах визуализации и обслуживания, а также для подготовки, отладки и записи программ в контроллеры. В соответствии с задачами программно-логического и непрерывного управления, диагностирования, контроля состояния функциональных узлов оборудования, отображения информации об управляемом процессе имеется стандартное программное обеспечение в виде функциональных блоков, обеспечивающих решение частных задач и органично встраиваемых в программы пользователя.

Имеются программы-драйверы, решающие задачу сопряжения контроллеров со стандартной периферией, другими контроллерами и компьютерными средствами автоматизации в коммуникационной сети.

В функциональные блоки входят программные пакеты, реализующие типовые функции, например:

- арифметические, тригонометрические, логарифмические, показательные, обработки логических цепей, преобразования массивов данных и др.;

- регулирования электромагнитных, механических в технологических переменных; реализации стабилизирующего, следящего, каскадного, модального и адаптивного управления; коррекции в компенсации нелинейностей; сглаживания; реализации непрерывных, шаговых и импульсных регуляторов;

- наблюдения, отображения в обслуживании для локальных и центральных систем; выдачи важных сообщений о процессе и об ошибках; группирования сообщений и отображения обобщенных сообщений; включения прерывистой и непрерывной световой и звуковой сигнализации;

- предварительной обработки сигналов в виде подготовки данных, обработки сообщений и прерываний, счета, дозирования, измерения скорости, пути, температуры и др.;

- служебные для обмена данными между центральным процессором контроллера и модулями коммутационного процессора; предварительной обработки сигналов и памяти;

- имитации объекта управления и обработки алгоритмов управления.

Для написания программного обеспечения контроллеров имеются экономичные технологии с использованием ПК (стандартных, совместимых с РС/АТ) или программаторов.

6. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Рассмотрим принципы автоматического управления на примере металлорежущего станка [9]. Под управлением металлорежущим станком понимают совокупность воздействий на его механизмы и устройства в целях выполнения требуемого технологического цикла обработки заготовки с заданной точностью, производительностью и себестоимостью выполненной операции.

Циклом работы оборудования называют совокупность основных и вспомогательных перемещений рабочих органов, осуществляемых в определенной последовательности, необходимой для выполнения оборудованием рабочих функций.

Этап цикла – простейшая неразделимая его часть. В течение отработки этапа цикла не происходит никаких изменений (включений или отключений) в состоянии рабочих и вспомогательных органов оборудования. Этап цикла также называют тактом работы схемы (этот термин полностью эквивалентен термину «этап цикла», применяемому в релейных схемах).

Циклы работы станочного оборудования можно разделить на две группы. К первой группе относятся циклы, которые остаются неизменными и повторяются многократно в процессе эксплуатации оборудования (например, циклы работы автоматических линий и агрегатных станков). Ко второй группе относятся циклы, совершаемые однократно в определенные моменты (включение того или иного цикла осуществляется с помощью специальной вспомогательной команды). Характерный пример – циклы движений вспомогательных механизмов в станках с ЧПУ (поиск и смена инструментов, зажим и освобождение подвижных узлов, загрузка-выгрузка и зажим заготовок и т. д.).

Управление станком заключается в получении сведений о результатах воздействия на его устройства (перемещении рабочих органов, срабатывании различных механизмов), анализе этой информации, выработке решения и в исполнении данного решения.

Управление станком может выполняться вручную рабочим или без его непосредственного участия – системой автоматического управления. В случае автоматического управления металлорежущим станком функции управления выполняет система программного

управления (СПУ), работающая по заранее составленной программе, вводимой в систему с помощью соответствующего программноносителя.

Одним из основных элементов СПУ является привод станка. Привод состоит из электродвигателя, силового преобразователя, механической системы и блока управления. Электродвигатель преобразует электрическую энергию в механическую; силовой преобразователь является источником питания электродвигателя с регулируемым выходом; механическая система обеспечивает передачу механической энергии от электродвигателя к рабочему органу станка. Блок управления, формирующий управляющее воздействие на силовой преобразователь, включает в себя датчики обратной связи, преобразующие информацию элементов привода и регуляторов, на входах которых эта информация сопоставляется с заданными значениями.

Все элементы привода взаимосвязаны: внутренние обратные связи соединяют электродвигатель с силовым преобразователем и механические передачи с электродвигателем; внешние обратные связи объединяют эти элементы.

В станкостроении в большинстве случаев применяют автоматизированный электропривод, т. е. электропривод с автоматическим регулированием параметров.

Функционирование станка зависит от его структуры и алгоритма управления. При этом структура станка определяет состав СПУ и связь между рабочими органами, вспомогательными механизмами и устройствами. Алгоритм управления, по которому работает СПУ, предписывает последовательность выполнения различных функций управления станком.

Управляющая программа (УП) представляет собой совокупность команд на языке программирования, соответствующую заданному алгоритму функционирования станка при обработке конкретной заготовки. Управляющая программа включает команды трех категорий:

- технологические, обеспечивающие управление перемещениями рабочих органов станка с заданными подачами в процессе обработки;
- цикловые, осуществляющие переключение скоростей, подач, выбор и смену инструментов, смену спутников с заготовками, контроль точности обработки и др.;

- служебные, или логические, обеспечивающие правильность отработки станком всех указанных выше команд.

По функциональному назначению различают следующие виды автоматического управления.

1. Управление повторяющимися автоматическими циклами обработки; примером этого служит управление агрегатным станком, выполняющим фрезерные, сверлильные, расточные и резьбонарезные работы. Управление этими циклами работы оборудования традиционно осуществлялось с помощью релейно-контактной автоматики, работающей по жесткой схеме. В последнее время в качестве управляющего устройства в таком случае используют программируемые контроллеры (ПК).

2. Управление изменяемыми автоматическими циклами (цикловое программное управление), которые задают в виде индивидуальных для каждого цикла материальных моделей-аналогов (копиров, наборов кулачков, системы упоров и т. д.); примерами являются системы управления копировальными токарными и фрезерными станками, многошпиндельными токарными автоматами и др.

3. Числовое программное управление (ЧПУ), при котором программу задают в виде записанного на том или ином носителе массива информации; управляющая информация для систем ЧПУ является дискретной, и ее обработка в процессе управления осуществляется цифровыми методами.

Числовым программным управлением (ЧПУ) металлорежущим станком называют управление обработкой заготовки на станке по УП, в которой данные заданы в цифровой форме.

На рис. 7 в качестве примера представлена схема управления металлорежущим станком, оснащенным системой ЧПУ.

Системы программного управления могут быть классифицированы по информационным признакам, под которыми понимают число и структуру потоков информации при управлении различными металлорежущими станками. Чем полнее информация, используемая в СПУ, тем выше качество ее работы и шире ее функциональные возможности.

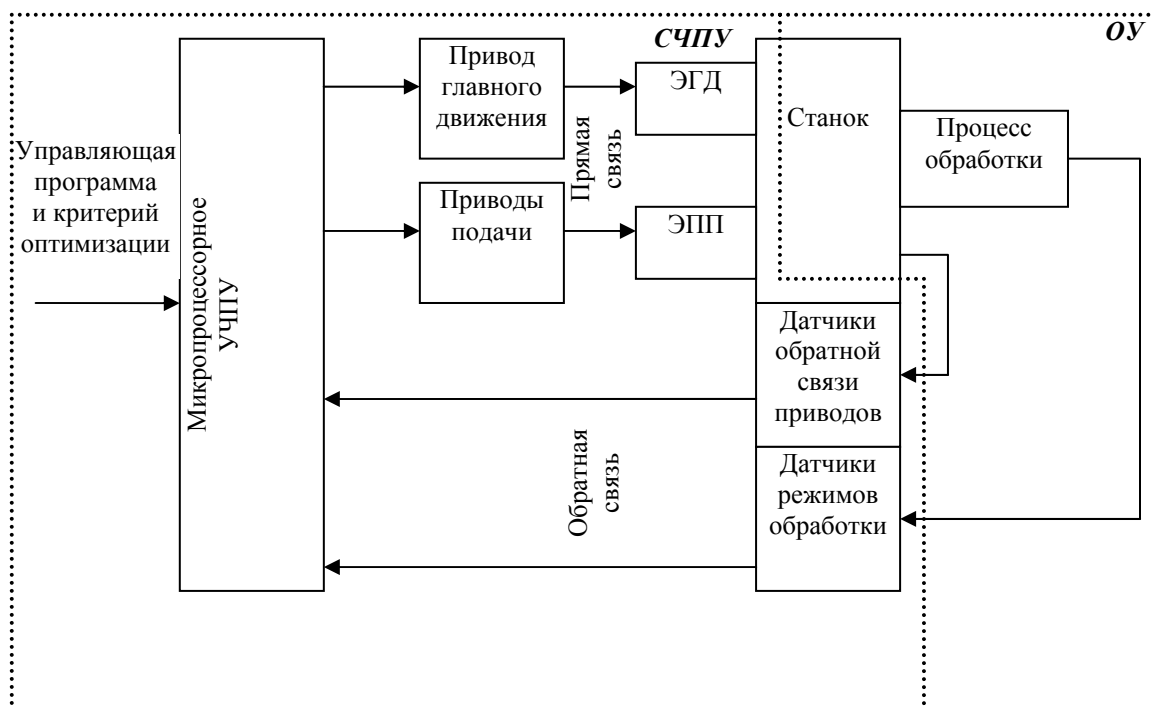


Рис. 7. Структура системы ЧПУ металлорежущего станка:
 ЭГД – электродвигатель главного движения; ЭПП – электродвигатель
 приводов подачи; УЧПУ – устройство числового программного управления;
 ОУ – объект управления

Источником информации, поступающей на вход СПУ, является УП, а в качестве обратной связи могут использоваться потоки информации, характеризующие состояние процесса обработки (положение рабочих органов станка, размеры заготовки и пр.); информация о возмущениях, действующих в процессе обработки и не зависящих от процесса управления (например, припуски, твердость материала заготовки, температура окружающей среды и др.).

Системы автоматического управления могут строиться на механической, гидравлической, пневматической, электрической, электрогидравлической и электронной основах.

По алгоритму управления СПУ могут быть разомкнутыми и замкнутыми. Для *разомкнутых* СПУ (рис. 8, а) характерен только прямой поток информации, устройство управления не контролирует действительное положение рабочего органа, поэтому точность его перемещения будет зависеть от точности передаточных механизмов привода подачи. Разомкнутыми являются СПУ с распределительным валом, копировальные системы, СЧПУ, приводы подач которых укомплектованы шаговыми электродвигателями.

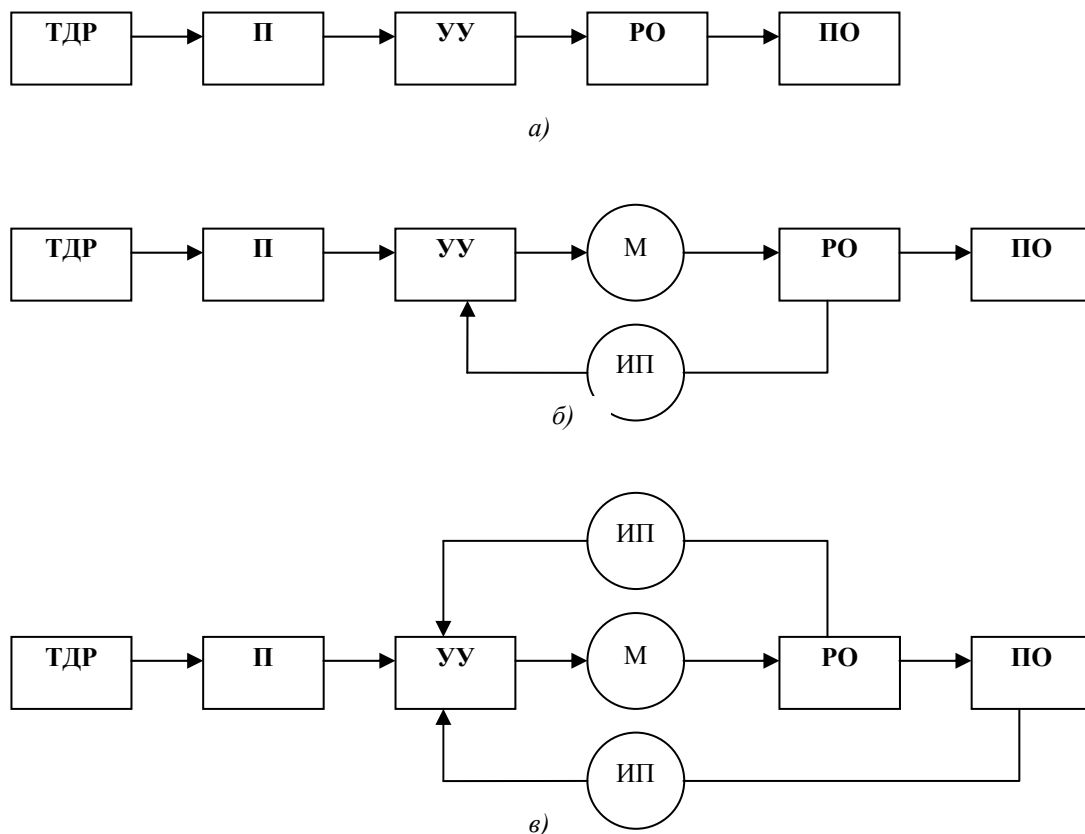


Рис. 8. Структурные схемы систем программного управления:
а – разомкнутая; *б* – замкнутая с обратной связью по положению рабочих органов станка; *в* – адаптивная;
ТДР – технологический документ на разработку УП; *П* – программоноситель;
УУ – устройство управления; *РО* – рабочий орган; *ПО* – процесс обработки;
ИП – измерительный преобразователь; *М* – электродвигатель

Замкнутые СПУ подразделяют на три подгруппы:

- с обратной связью по положению рабочих органов станка (стола, салазок, шпиндельной бабки), где имеется поток информации от измерительного преобразователя (ИП) (рис. 8, *б*); к этой подгруппе относятся следящие копировальные СПУ;

- с обратной связью по положению рабочих органов и с компенсацией погрешностей станка, вызванных тепловыми деформациями, изнашиванием направляющих, вибрациями и др.; в этих СПУ предусмотрены дополнительные ИП, оценивающие погрешности станка и передающие сигналы в устройство управления для коррекции начальной информации;

- адаптивные (рис. 8, *в*), в которых кроме обратной связи по положению рабочих органов станка имеется обратная связь от соответ-

ствующих ИП по параметрам процесса обработки (силе резания, крутящему моменту, температуре в зоне резания, амплитуде вибраций и др.), что позволяет учитывать и компенсировать влияние на точность обработки колебаний припуска на заготовке, твердости обрабатываемого материала, износа режущего инструмента и других факторов, которые носят случайный характер и которые нельзя предусмотреть заранее.

По характеру управляющих сигналов различают непрерывные (аналоговые) и дискретные системы программного управления.

7. ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ ДВИЖЕНИЯ

Важным видом устройств современных систем управления различного назначения, в которых мехатронные модули используются в качестве информационных управляющих и исполнительных устройств, являются электрогидравлические мехатронные модули движения [10]. Электрогидравлический ММД является обобщенным понятием, применяемым для обозначения класса высокоточных электрогидравлических следящих приводов (ЭГСП).

В *электрогидравлических следящих приводах* (ЭГСП) гидропривод (ГП) является исполнительным звеном или *силовой частью*, а в его *управляющей системе* в качестве задающих, чувствительных и усилительно-преобразующих элементов используются устройства различного принципа действия. ЭГСП получили широкое распространение благодаря ряду достоинств, присущих ГП. Они отличаются высоким быстродействием, большими развиваемыми усилиями и крутящими моментами исполнительных *гидродвигателей* (ГД), легкостью защиты от перегрузок и другими достоинствами. Во многих случаях они могут быть совмещены с объектом регулирования (ОР) без промежуточных согласующих передач и редукторов.

Если в ЭГСП для достижения высокого качества регулирования формирование управляющих воздействий, реализующих требуемый закон движения ОР, осуществляется с применением цифровых управляющих устройств с учетом возмущающих факторов внешней среды при существенной взаимосвязи электронных, электромеханических и гидромеханических модулей, то такой ЭГСП представляет собой мехатронную систему. Как правило, такая мехатронная система применяется в качестве исполнительного звена в различных системах управления автоматизированных установок с механическими ОР и в дальнейшем будет называться *электрогидравлическим ММД*.

Внедрение микропроцессорной техники привело к существенным изменениям многих свойств ЭГСП с цифровым управлением. Именно цифровая реализация функций контроля и управления предоставила большие возможности в придании системам приводов свойства функциональной гибкости, при наличии которого можно говорить о реализации элементов *искусственного интеллекта*. В э-

лектрогидравлическом усилителе (ЭГУ) появились электрические обратные связи (ОС), что позволило существенно упростить их настройку и регулировку, снизить требования к отклонениям коэффициентов усиления отдельных каскадов и существенно улучшить их статические и динамические характеристики. Стало возможным получать системы, инвариантные к параметрическим и сигнальным возмущениям на основе применения принципов самонастройки, усиления эффектов демпфирования силовой части ЭГСП, формирования сложных корректирующих сигналов для улучшения энергетических и регулировочных характеристик ГП.

По сравнению со схемами ЭГСП с непрерывным управлением в программном обеспечении микропроцессора, введенного в управляющую систему ЭГСП, реализованы функции формирования сигналов рассогласования и корректирующих местных ОС. При этом сложные аналоговые устройства управляющей системы ЭГСП, т. е. несколько каналов формирования управляющих сигналов, интегро-дифференцирующие контуры, усилители-преобразователи напряжений переменного и постоянного тока, генераторы вибрационных линейаризующих сигналов заменяются одноплатными ЭВМ или программируемыми контроллерами с «гибким» специальным программным обеспечением. К согласующим устройствам относятся цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи (ЦАП и АЦП) управляющих сигналов.

Для ММД характерна системная интеграция измерительных, управляющих и исполнительных устройств на алгоритмическом уровне, следовательно, и в программном обеспечении. При этом систему невозможно расчленить или заменить цифровое управляющее устройство на непрерывное без снижения ее качества. В дальнейшем, рассматривая ЭГСП, будем полагать, что под этим обозначением понимается автоматическая система, представляющая собой электрогидравлический ММД в некотором исходном состоянии для последующего развития его структуры на алгоритмическом уровне.

В пределе своего развития мехатронные системы становятся эргатическими и преобразуются в «мехатронные эргаматы», в которых степень участия человека может изменяться от непосредственного управления до общего целеуказания. Применительно к ММД такая постановка задачи существенно ограничивается, так как участие человека относится к более высокому уровню системы управления.

Опыт создания нескольких поколений высокоточных автоматических систем в различных сферах свидетельствует о том, что для их применения необходимо иметь способность восприятия информации о внешней среде и изменяющихся свойствах управляющих устройств, соответствующей ее интерпретации и воплощения в целенаправленные действия, повышающие качество управления.

Наиболее общим *системообразующим фактором, определяющим структуру ММД*, является требование реализации движения ОР, программируемого на верхнем уровне мехатронной системы в целом, путем формирования управляющего воздействия на ОР с учетом необходимых свойств математической модели системы или ее элементов, а также анализа ее динамики при существенном влиянии среды функционирования системы. Если в алгоритмах ММД реализовано указанное требование, то его можно считать интеллектуальной МС.

Устройства цифрового управления обеспечивают автоматический режим работы ЭГСП с цифровым управлением по сигналам внешней ЭВМ, по программе, вырабатываемой автономно, а также автоматизированный режим работы под управлением оператора установки, в том числе автономный режим тестов настройки и контроля. Такие ЭГСП имеют существенные особенности, отличающие их от аналогичных непрерывных систем. Законы управления и контроля правильности функционирования реализуются в форме алгоритмов, запрограммированных в управляющей ЭВМ. На их процесс функционирования существенное влияние оказывают квантование сигналов по времени и по уровню, ограниченность разрядности процессоров, устройств памяти и обмена информацией между цифровой и непрерывной частями системы. Цифровые датчики информации о контролируемых координатах и параметрах требуют применения специфических способов обработки информации. Используются технологии автоматизированного проектирования алгоритмов и программ, а их отладка и адаптация выполняются непосредственно в условиях эксплуатации управляемых объектов.

Возможности средств цифрового управления еще не реализованы в достаточно полном объеме. Они открывают возможность реализации сложных алгоритмов, которые ранее не имели реального значения. Структура управления исполнительным двигателем (ИД) как динамическим объектом, развиваемая в современной технике

управления, пока еще не нашла достойного применения, поскольку в разработках преимущественно осуществляется перенос на цифровую технику известных законов и структур непрерывных систем управления, что приводит к необходимости применения достаточно мощных вычислительных средств.

Возникли новые задачи проектирования, применение которых позволяет значительно улучшить качество управления, т. е. статическую и динамическую точность, быстродействие привода, жесткость характеристик и т. д., улучшить энергетические показатели алгоритмическим путем без изменения силовых элементов ГП, снизить требования к первичным измерителям и их составу, избежать завышения требований к ресурсам технических средств, реализующим алгоритмы цифрового управления, т. е. к скорости вычислений, разрядности и объемам памяти процессора.

Обработка информации датчиков сигналов ОС в отдельных каналах формирования управляющих сигналов имеет ряд недостатков. Требования к разрешающей способности первичных измерителей (чувствительность к шумам, «дребезгам» и другим помехам в сигналах датчиков), как правило, завышаются. При завышенных требованиях к быстродействию цифровой части контроллер «должен» успеть среагировать на сигналы датчика, несмотря на то, что эти сигналы приходят достаточно редко. Невозможно выполнить сопряжение разных датчиков в одном контуре регулирования. Недоиспользование датчиков или необходимость использования датчиков в каждом контуре регулирования приводит к избытку датчиков.

Средством, позволяющим ослабить проявление этих недостатков, является использование дискретных фильтров (в общем случае – наблюдателей состояния), которые дают возможность выполнения интерполяции значений переменных состояния на интервалах между измерениями. При этом требования к разрешающей способности датчиков определяются точностью принимаемой модели (в частности, управление с большим угловым разрешением возможно при пониженной разрешающей способности датчиков углового положения). Можно применять экстраполяцию значений различных переменных, следовательно, возможна компенсации запаздывания. Совмещение различных датчиков (даже различных типов, в частности, дискретных и аналоговых) с наложением их преимущественных характеристик (например, статической точности и стабильности од-

них датчиков и высоких динамических свойств других) позволяет алгоритмическим путем построить уникальный датчик, отсутствующий на практике. Функции измерения и фильтрации координат можно выполнять без заметных фазовых искажений.

Однако применение дискретных фильтров или наблюдателей состояния является трудной задачей. Основная объективная причина этого заключается в многосвязности внутренних переменных таких фильтров и наличии памяти. При несовпадении исходной гипотезы о характере изменения сигнала с реальным процессом их выходные сигналы имеют недопустимо большие искажения и медленно входят в регулярный режим при устранении таких несовпадений. Если аналитическая дискретная модель процессов движения ОР учитывает особенности реального движения, то имеется возможность увеличивать интервал дискретизации процессов вплоть до требуемого времени реакции на действие возмущений. В нерекурсивных дискретных фильтрах собственная динамика определяется только его скользящей памятью, а оценки переменных состояния формируются автономно. В таком наблюдателе на каждом шаге запоминаются текущие и предыдущие значения только входных сигналов. Поскольку получаемые оценки не используются на последующем шаге вычислений, то их значения можно произвольно ограничивать, например, по ожидаемому диапазону их значений. Благодаря этому исключаются случайные выбросы оценок, облегчается их последующая фильтрация (в рекурсивных фильтрах ограничение значений оценок невозможно). Важно, что оценки вычисляются независимо (автономно). В этом случае становится возможной пошаговая отдельная коррекция выходных сигналов по каждой переменной, адаптирующая дискретный фильтр к конкретному применению и при возникновении указанных выше несоответствий в характере движения. Погрешности дискретного фильтра или наблюдателя обусловлены, очевидно, несоответствием принимаемой математической модели и реальных процессов, происходящих в объекте. Для ЭГСП наиболее характерным случаем этого является скачкообразное изменение управляющего или внешнего возмущающего воздействий.

Аппаратные средства и программное обеспечение (ПО) средств цифрового управления быстро развиваются. В частности, функции средств цифрового управления совершенствуются с целью ослабления неблагоприятного влияния «человеческого фактора» на качество

функционирования управляемого объекта. Интеллектуализация основана на разработке и применении экспертных систем, под которыми понимают программы, способные делать логические выводы на основе некоторой базы знаний в конкретной проблемной области. Быстрые «консультации» управляющего процессора или оператора с такой системой, особенно в критических ситуациях, когда возникает несколько разнородных (например, механических и электрических) последовательных отказов в системе, позволяют повысить уровень безопасности и надежности использования управляемого объекта и принять решение о возможности продолжения или о свертывании операций его функционирования.

Интерес к разработкам интеллектуальных ЭГСП обусловлен тем, что такие системы ориентированы на решение неформализуемых задач, ранее считавшихся малодоступными для применения на практике.

Определение параметров средств цифрового управления является заключительной стадией функционального проектирования ЭГСП. В модели цифровой части в этом случае учитываются эффекты квантования сигналов по уровню и времени, влияние нелинейностей в виде ограничения разрядности процессора и устройств памяти, датчиков, ЦАП и АЦП. Рассматриваются алгоритмы формирования компенсирующих сигналов, наличие цифровых фильтров, процедуры вычисления управляющих сигналов, основанные на их экстраполяции при недостаточно высокой частоте обновления информации, поступающей в управляющую ЭВМ. При выборе периода квантования и количества разрядов ЦАП значения параметров, полученные по результатам проектирования непрерывного ЭГСП, уточняются. Кроме этого, проверяется факт отсутствия предельных циклов, которые могут возникнуть при введении в математическую модель ЭГСП блоков квантования по времени и уровню.

К числу основных параметров управляющей ЭВМ, определяемых в первом приближении, можно отнести разрядности процессора, входных и выходных преобразователей измерительной и управляющей информации, быстродействие процессора, объем ОЗУ и ПЗУ, шаг квантования по времени во входных и выходных преобразователях.

Более точное их определение производится экспериментально в процессе отладки ЭГСП на комплексных стендах или объекте монтажа.

Существенной по трудоемкости является задача отработки ПО для управляющих ЭВМ или микропроцессора. Алгоритмическое обеспечение всех указанных выше функций управляющей ЭВМ в составе ЭГСП представляет собой единый комплекс взаимосвязанных алгоритмов. Унификация модулей алгоритмов такого комплекса позволяет при их реализации использовать типовые программные модули в реализованном специальном ПО.

Технология создания специального ПО производится на стационарной рабочей станции с ЭВМ, представляющей собой систему автоматизированного проектирования (САПР) специального ПО. В развитой форме такая система является комплексным стендом разработчика ЭГСП с цифровым управлением в целом. С помощью мобильной рабочей станции на объекте монтажа можно в сокращенном объеме выполнить функции стационарной рабочей станции для адаптации ПО и аппаратуры ЭГСП к реальной установке.

Специальное ПО создается заранее, совершенствуется в ходе эксплуатации созданных систем и используется на стационарной рабочей станции. Пересылка этих модулей ПО от стационарной или мобильной рабочей станции в приборы цифрового управления осуществляется по мультиплексным линиям информационного обмена как на стендах, так и в условиях эксплуатации на объектах монтажа.

Структурно-функциональное описание класса электрогидравлических ММД

Структурный анализ в исследовании динамики любых систем заключается в выделении их элементов и последующем концептуальном синтезе описания системы из исследованных частей. Понимая взаимосвязь частей, при проектировании можно создать систему, обладающую необходимыми свойствами.

Функциональный подход означает, что система или любой ее элемент рассматривается исключительно с позиций изучения их внешних характеристик и взаимосвязей с другими системами, не касаясь внутреннего содержания, т. е. рассматривается «черный ящик».

Так как всегда важно знать также и внутреннее строение системы, то необходимо использовать более детальное представление на более низком уровне, т. е. приходится рассматривать иерархические структуры, но по-прежнему на каждом уровне интересуясь только внешними характеристиками и связями подсистем. При этом сохра-

няется возможность использования некоторого ограниченного арсенала методов и средств исследования.

Обобщенная функциональная схема ЭГСП (рис. 9) позволяет представить его состоящим из силовой части или гидропривода (ГП), управляющей системы (УС), измерительного устройства (ИУ), датчика положения ОР – датчика угла (ДУ) главной ОС, датчиков разности давлений (ДД) и скорости (ДС) местных ОС.

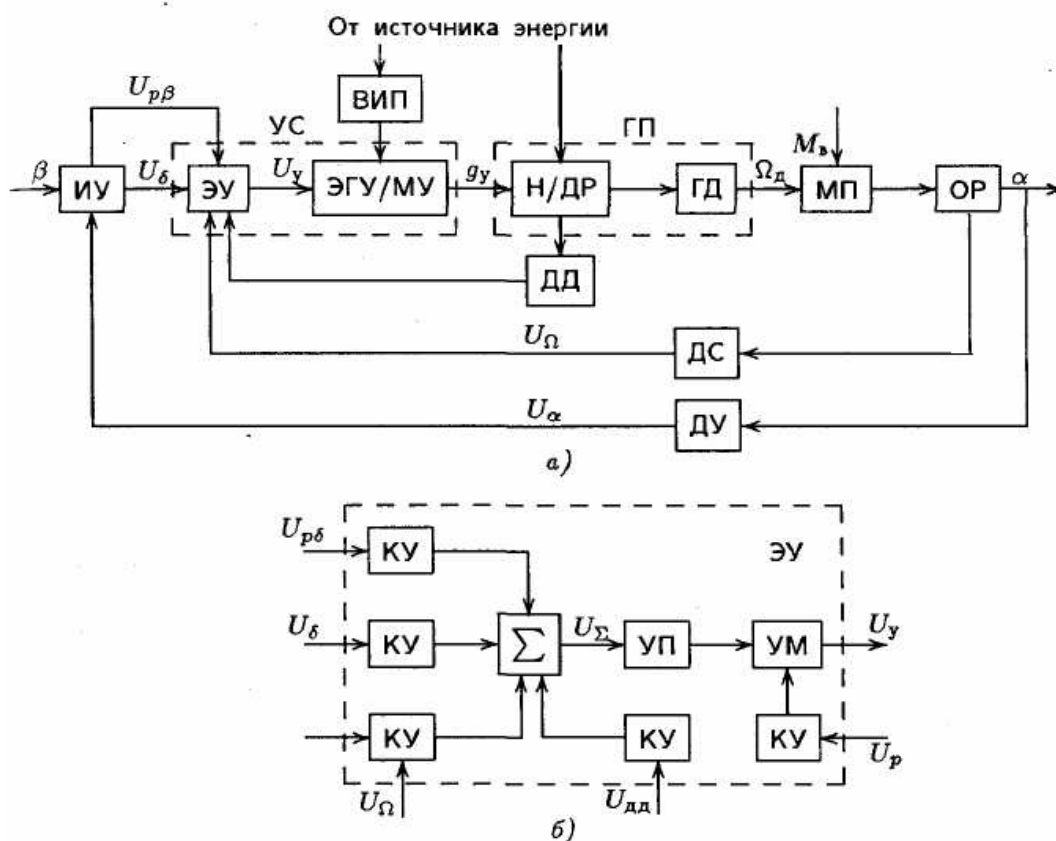


Рис. 9. ЭГСП: а) обобщенная функциональная схема;
б) электронный усилитель

Силовую часть ЭГСП образуют исполнительный гидродвигатель (ГД), насос (Н) с регулируемым рабочим объемом или дроссельный распределитель (ДР) и механическая передача (МП). В гидроприводе с объемным управлением для регулирования потоков рабочей жидкости (РЖ) применяют насосы с регулируемым рабочим объемом, преобразующие механическую энергию приводного двигателя в энергию потока РЖ. Гидропривод с дроссельным управлением для регулирования потоков РЖ имеет устройства, которые содержат золотниковые или струйные ДР, питаемые от внешних источников гидравлической энергии.

Силовые части ЭГСП в большинстве случаев реализуют управление скоростью исполнительного ГД. Однако можно реализовать и управление моментом, развиваемым ГД. Известно, что основным способом такого управления является введение глубокой отрицательной ОС по моменту, развиваемому ГД. Этот способ часто применяют при синтезе ЭГСП. Особенно широкое применение структуры ЭГСП, основанные на управлении моментом ГД, получили в системах наведения и стабилизации ОР, установленных на подвижных основаниях. При этом, как правило, указанная ОС реализуется в устройствах, с помощью которых давления в магистралях ГП воздействуют на его регулирующие элементы, чтобы придать системе свойство пропорционального управления воздействующим на ОР моментом ГД.

Необходимо отметить, что обратимость объемных гидромашин позволяет реализовать управление моментом ГД непосредственно в одной машине. Эта возможность возникает при использовании ГД с регулируемым рабочим объемом (РГД). Характерная особенность РГД заключается в том, что управление моментом осуществляется непосредственно за счет изменения его рабочего объема. При наличии на его входе неизменного давления гидропитания момент, который он развивает, изменяется пропорционально отклонению его регулирующего органа. Этот метод позволяет использовать один источник гидропитания для приведения в действие нескольких РГД.

В состав ГП входит ряд вспомогательных устройств и систем для регулирования давления или расхода, кондиционирования РЖ, для ее транспортирования под давлением и хранения.

В зависимости от длины гидролиний ГП можно рассматривать как систему с *сосредоточенными параметрами*, на динамические характеристики которых влияют только сжимаемость РЖ и упругость стенок трубопроводов, или как систему с *распределенными параметрами*, на динамические свойства которых существенное влияние оказывают волновые процессы в трубопроводах. При проектировании ЭГСП в большинстве случаев его можно рассматривать как систему с сосредоточенными параметрами. Однако при длине трубопроводов более 15...20 м такое допущение при рассмотрении динамических свойств ГП может оказаться грубым, и тогда их необходимо рассматривать как динамические системы с распределенными параметрами.

Управляющие системы (УС) применяют для формирования входного сигнала силовой части ЭГСП. Они содержат в своем составе электронный усилитель (ЭУ), обеспечивающий преобразование сигналов различного вида (постоянного или переменного тока, импульсных или цифровых), их коррекцию, сложение и предварительное усиление сигналов различных контуров ЭГСП (рис. 11, б). Для этого ЭУ имеет последовательные и параллельные корректирующие устройства (КУ), предварительный усилитель (УП) и усилитель мощности (УМ).

Исполнительное звено УС представляет собой один или несколько *гидромеханических каскадов (ступеней) усиления сигнала по мощности*. В многокаскадных устройствах первый каскад является звеном предварительного усиления, а второй или третий каскад является выходным усилителем мощности, т. е. исполнительным звеном УС.

Для перемещения регулирующего органа насосов требуются значительные усилия. Поэтому ЭГСП с объемными гидромашинами представляет собой последовательное соединение ГП и относительно маломощной УС (рис. 11, а). Исполнительным звеном УС является механизм управления (МУ), а его входное звено выполняет функции усиления и преобразования управляющих сигналов и формирования сигнала, поступающего на вход ГП. В УС применяются местные ОС по сигналам датчиков положения или скорости подвижных элементов устройств механизма управления. Управляющие системы в целом и механизмы управления в зависимости от их схемного выполнения могут представлять собой системы регулирования как положения, так и скорости движения регулирующего органа насоса.

Механизм управления составлен из электромеханического преобразователя и пропорционального или интегрирующего гидроусилителя (ГУ). Для преобразования электрического сигнала в перемещение регулирующего элемента ГУ применяются управляющие электродвигатели небольшой мощности или же электромагниты поворотного или поступательного движения. Конструктивные и схемные выполнения механизмов управления разнообразны. В ЭГСП большой мощности распространение получили устройства с маломощными электрическими асинхронными или шаговыми двигателями и однокаскадным ГУ. Особенно широкое распространение имеют системы с малогабаритным поляризованным управляющим электро-

магнитом (ЭМ) и двухкаскадным ГУ, обеспечивающие также изменение положения или скорости регулирующего органа насоса.

Электрогидравлическим усилителем (ЭГУ) называется ГУ, имеющий на входе управляющий ЭМ. В ЭГСП с дроссельным управлением применяются ЭГУ, имеющие до трех последовательно включенных ГУ. Конструктивные схемы ЭГУ отличаются разнообразием. Распространение получили золотниковые и струйные ГУ сопло-заслонка с поляризованным ЭМ. ЭГУ такого типа сочетают в себе ряд важных достоинств: простота конструкции, удобство компоновки и надежность работы с высоким быстродействием, линейность характеристик. Их недостатком является значительный расход РЖ через дроссели и сопла, что несколько снижает КПД устройства в целом.

Канал управления образуют управляющая и силовая части ЭГСП, а *контур управления (или регулирования)* состоит из канала управления, охваченного местной или главной ОС.

В ИУ формируется сигнал U_{δ} рассогласования ЭГСП, пропорциональный значению $\delta = \beta - \alpha$ путем сравнения управляющего воздействия β с регулируемой величиной α . В общем случае сигнал рассогласования отличается от действительного рассогласования из-за погрешностей измерительных устройств. Сигналы местных ОС формируются с помощью параллельных КУ, на которые поступают сигналы от различных датчиков, например от датчиков скорости ДС и разности давлений ДД в полостях ГД.

Управляющее воздействие ЭГСП, как правило, формируется в устройствах комплексов, в состав которых входит данная система. В автоматизированных установках оно формируется оператором с помощью задающих устройств различного исполнения. Схемы ЭГСП, как правило, имеют в своем составе вспомогательные блоки, в частности, устройство контроля и вторичные источники питания.

8. МЕХАТРОННАЯ ФРЕЗЕРНАЯ СИСТЕМА

В настоящее время замена устаревшего оборудования систем ЧПУ представляется важной для многих предприятий по ряду экономических и технических причин, таких как удорожание расходных материалов, моральное и физическое устаревание имеющихся систем, увеличивающиеся требования к надежности, точности обработки и производительности станков. Анализ различных реализаций систем ЧПУ показывает экономическую целесообразность перехода на системы ЧПУ на базе микроконтроллеров. Так, рассмотрим построение системы ЧПУ на базе микроконтроллера Atmel ATmega128 [11].

Достоинствами данного микроконтроллера являются:

- относительно высокая частота (16 МГц);
- RISC-архитектура, позволяющая проводить выборку команды за один цикл синхронизации и имеющая более высокую по сравнению с CISC-архитектурой производительность;
- наличие Flash-памяти и ее расширяемость, что позволило добиться достаточно большой емкости (512 Кб). При использовании бинарного хранения программы управления УЧПУ это позволяет записывать программы объемом 20 тысяч командных строк.

Архитектура системы

На аппаратном уровне микропроцессорная система ЧПУ состоит из основного модуля (ОМ) обработки программы, клавиатурного модуля (КМ), выходного модуля (ВМ), содержащего ЦАП и усилители сигнала, и автономного модуля программирования УЗУП (устройства записи управляющих программ), используемого для записи программ УЧПУ в ОМ (рис. 10).

Основной модуль выполняет функции взаимодействия с пользователем (обеспечивая пользовательский интерфейс с использованием клавиатуры, ЖКИ), анализа, подготовки программы и интерполяции. Он состоит из микроконтроллера Atmel ATmega128, памяти EEPROM и расширенной памяти Flash 512 Кб. Одна или несколько программ УЧПУ с помощью УЗУП записываются во Flash-память микроконтроллера, откуда могут быть запущены на исполнение. Запущенная на исполнение программа обрабатывается на предмет выявления неверных команд либо превышения предельных характеристик (в частности, максимально допустимой скорости).

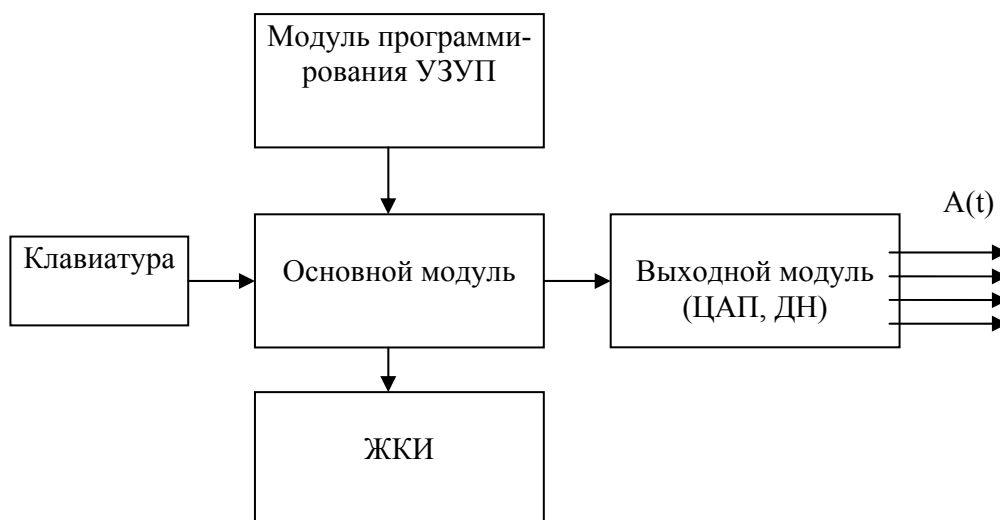


Рис. 10. Модульная структура системы ЧПУ на базе микроконтроллера Atmel

Система меню позволяет гибко настроить параметры работы и предоставляет дополнительные сервисные функции. Встроенный таймер, работающий на частоте 2 кГц, позволяет выводить фазоуправляющий сигнал в выходной модуль. Этот же таймер используется для параллельного выполнения нескольких задач, таких как опрос контроллера клавиатуры, вызов обработчика дисплея (для вывода изменяющейся информации на дисплей во время процесса интерполяции). Для того, чтобы выполнение дополнительных задач по таймеру не приводило к задержке выходного сигнала, используется буферизация выборок сигнала интерполяции. Это связано с тем, что время выполнения отдельных задач, например вывода информации на дисплей, может быть больше периода интерполяции.

Выходной модуль состоит из набора ЦАП, преобразующих цифровой сигнал с выхода ОМ в аналоговые сигналы управления станком, и делителя напряжения (ДН). Такое построение позволяет использовать станок как со старой, так и с новой системой управления.

Для того, чтобы максимально разгрузить основной микроконтроллер во время выполнения задач интерполяции, модуль клавиатуры был выполнен с применением отдельного микроконтроллера с упрощенной системой команд. Этот микроконтроллер периодически опрашивает клавиатуру, позволяет обрабатывать нажатие нескольких клавиш одновременно (эта полезная особенность используется, на-

пример, при ручном перемещении инструмента), устраняет эффектдребезга клавиш.

Модуль программирования УЧПУ (УЗУП) построен на базе процессора Intel 80486. УЗУП является автономным модулем, подключаемым к УЧПУ в случае необходимости записи программ в УЧПУ, и позволяет записать от одной и более программ с дискеты 3,5". Запись осуществляется через разъем порта RS-232.

Программная структура УЧПУ представляет собой набор модулей, реализующих тот или иной компонент, имеющих собственные структуры данных и методы для взаимодействия с программной и аппаратной частями УЧПУ. При включении микроконтроллера управление получает основной модуль. Он предоставляет возможность работы с программами (удаление всех программ, добавление новых программ) и запуска программы на исполнение. На рис. 11 отображена только часть, отвечающая за запуск программ и сервисные функции, основной же модуль не показан.



Рис. 11. Программная структура системы УЧПУ

Обработчик программ получает адрес программы во Flash-памяти и ее название от модуля хранения программ. Программа считывается и проверяется на правильность и предельные характеристики. В случае превышения предельных характеристик выводится предупреждающее сообщение. Далее начинается цикл интерполяции. Обработчик программ берет очередную команду, вычисляет начальную и конечную скорости кадра (исходя из скоростей предыдущего и последующего кадров) и вызывает соответствующую команду интерполятора. Интерполятор выполняет необходимые вычисления и начинает интерполяцию. Размер буфера в модуле буферизации выбирается таким образом, чтобы время предварительных вычислений не превышало время вывода выборок из непополняемого буфера. Поддерживаются команды "линейное перемещение", "круговое перемещение" и "задержка". Обработчик программ также поддерживает следующие скоростные режимы:

- изменение скорости подачи;
- торможение до фиксированной скорости.

Обработчик программ также предоставляет сервисные функции по определению текущих координат и перемещению инструмента в точку начала заданного кадра.

Модуль вывода информации на дисплей и модуль опроса клавиатуры реализованы таким образом, что их работа происходит параллельно с работой интерполятора и других модулей (аналог кооперативной многозадачности в операционных системах). Такой режим реализуется с помощью встроенного таймера. Модуль вывода информации на дисплей проверяет текущую функцию вывода и, если она задана, вызывает ее для обеспечения вывода информации. Таким образом, каждый из модулей просто реализует свою собственную функцию вывода информации без непосредственного взаимодействия с дисплеем. Это позволяет значительно упростить структуру всей программы и обеспечить дополнительные преимущества (например, отсутствие мерцания экрана при быстром выводе информации).

Модуль клавиатуры также предоставляет удобные функции опроса клавиатуры (например, функцию проверки состояния клавиши, функцию ожидания нажатия определенной клавиши и др.).

Модуль буферизации получает значения выборок от интерполятора и накапливает их в буфере. Буфер выборок имеет двойное назначение. Во-первых, поскольку на малых скоростях интерполяция может идти намного быстрее, чем требуется для вывода в ЦАП, буфер используется

для тактированного вывода выборок в ЦАП (по таймеру). Во-вторых, поскольку в начале и в конце интерполяции выполняются ресурсоемкие вычисления параметров ускорения и торможения, буфер требуется для компенсации времени вычисления. В то время, пока проводятся эти вычисления, ЦАП получает выборки из буфера. Основное требование к буферу следующее: размер буфера, умноженный на период интерполяции (время между двумя последовательными выборками), должно быть больше времени самого длительного участка с вычислениями. Эта величина определяется экспериментально.

На рис. 12 показаны потоки управления в программе УЧПУ. При включении управление получает главный модуль (отображается главное меню). Отсюда оператор может работать с УЗУП (загружать программы, очищать память) и выполнять программы или использовать сервисные функции УЧПУ.

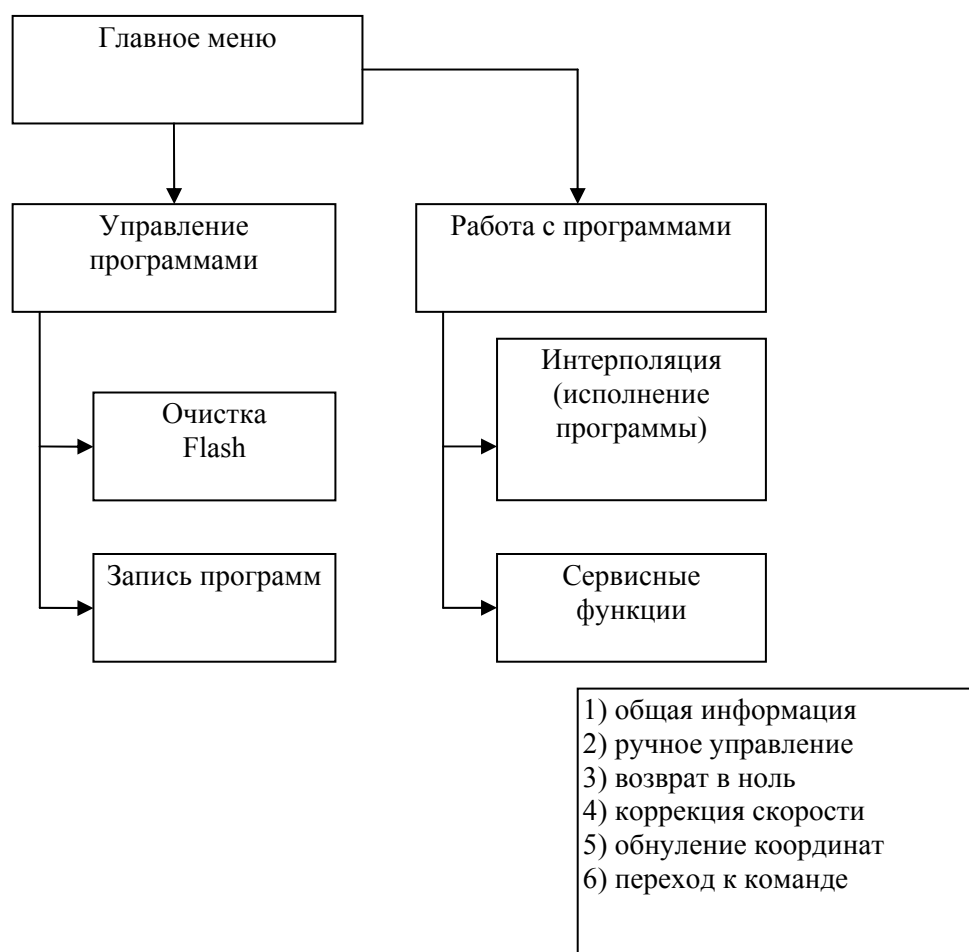


Рис. 12. Потоки управления в УЧПУ

Подобная реализация позволяет сделать систему более универсальной и расширяемой за счет переноса алгоритмической сложности задачи на программное обеспечение микроконтроллера. Теперь большинство изменений системы (например, добавление новой координаты, нового типа интерполяции, введение коррекции, добавление системы обратной связи) возможны без существенного аппаратного усложнения системы. Такая реализация позволяет расширить сервисные функции системы, значительно повысив экономическую и технологическую эффективность станков. Наиболее значимыми среди сервисных функций являются:

- возможность останова станка с последующим продолжением работы с точки останова или с любой указанной команды в программе, что позволяет осуществить технологический останов для замены инструмента;
- возможность ручного подвода инструмента к заданной точке по кратчайшей траектории, что избавляет от необходимости проходить повторно по всему контуру для позиционирования инструмента в нужной точке;
- функция коррекция скорости, которая позволяет динамически увеличивать скорость обработки на участках, где скорость может быть изменена без ущерба качеству обрабатываемой поверхности, и уменьшать скорость на участках с повышенными требованиями к качеству обработки;
- функция возврата в ноль, которая позволяет вернуть инструмент в начальное положение для его замены, чтобы затем продолжить работу с точки останова;
- функция контроля скорости и координат, предупреждающая технологические ошибки и выводящая сообщения в случае возможного превышения максимально допустимой скорости или неприхода инструмента в конце обработки в координатный ноль.

9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Одним из направлений автоматизации является автоматизация транспортно-технологических стыков, представляющих собой узлы, позволяющие осуществлять переработку входящих и перераспределение выходящих материальных потоков (потоков сырья, незавершенной продукции, готовой продукции). С этой целью возможно создание транспортно-технологического стыка на основе электромагнитного подвешивания. Наибольшие возможности по грузоподъемности и устойчивости при перемещении крупногабаритных и тяжеловесных объектов обеспечивают системы на основе использования эффекта “магнитной потенциальной ямы” (МПЯ) [12].

Эффект МПЯ был обнаружен В.В. Козорезом в 1975 году и заключается в возможности существования минимума потенциальной энергии магнитного взаимодействия как функции расстояния между двумя магнитными элементами – либо идеально электропроводящими витками, либо в паре с идеально электропроводящим витком и постоянным магнитом. Исследования по использованию МПЯ для магнитного транспорта проводились в Институте кибернетики имени В.М.Глушкова АН Украины. Результаты расчетов по определению грузоподъемности магнитной опоры на основе МПЯ показывают, что величина давления, развиваемая единицей поверхности опоры, составляет $p = 1,35 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$.

Существенной проблемой, с которой приходится сталкиваться разработчикам транспортных систем на магнитной подвеске, является противодействие магнитных сил, создающих подвес, магнитным силам, задающим движение. Для решения этой проблемы и создания максимального толкающего усилия при минимальном потреблении энергии витки ускоряющих статорных обмоток располагаются под определенным углом к направлению перемещения объекта.

На рис. 13 показан объект 1 оборудованный двумя источниками магнитного поля 2. Источников магнитного поля может быть сколько угодно много, но они должны быть разнесены друг от друга на расстояние A , которое определяется ниже. Витки 3 статорной обмотки путепровода располагаются в плоскостях, наклоненных под углом α к направлению 4 перемещения объекта 1.

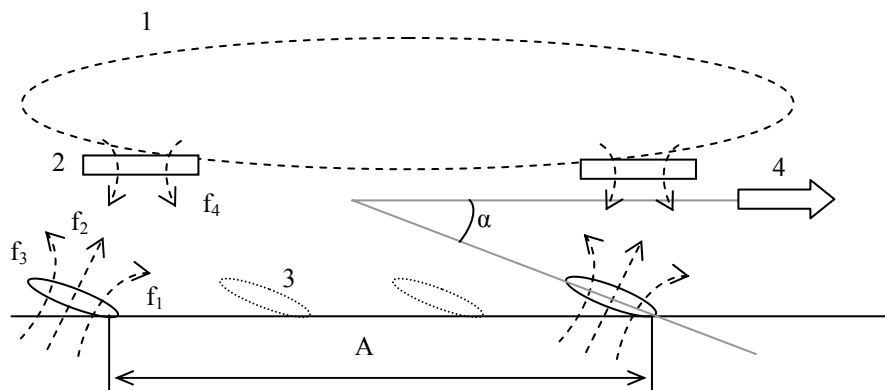


Рис. 13. Взаимодействие витков ускоряющей статорной обмотки с источниками магнитного поля транспортного средства

При запитывании током витков 3 появляются магнитные силовые линии f_1 , f_2 , f_3 . При взаимодействии с магнитными силовыми линиями f_4 , создаваемыми источниками 2, силовые линии f_1 и f_2 оказывают ускоряющее воздействие на объект 1, а силовые линии f_3 – тормозящее. Чтобы исключить тормозящее воздействие одновременно запитанные током витки 3 располагаются на расстоянии A друг от друга. В результате статорная обмотка делится на секции, поочередно запитываемые по мере перемещения объекта 1 относительно путепровода. Данные предположения были проверены на макете и получили подтверждение, в результате чего был разработан базовый элемент транспортной системы (БЭТС). БЭТС представляет собой чередующиеся последовательности поясов ускорения и стабилизации перемещаемого объекта (грузовой платформы, несущего блока транспортера и т. п.) [13].

Если же использовать несколько подобных обмоток, расположенных параллельно, подъемное усилие равномерно распределяется по всей площади взаимодействия витков обмоток путепровода и источников магнитного поля грузовой платформы, что позволяет перемещать крупногабаритные и тяжеловесные грузы.

Общий вид транспортной системы для крупногабаритных и тяжеловесных объектов приведен на рис. 14, где крупногабаритный, тяжеловесный объект 1 установлен и закреплен на поддоне 2. Поддон 2 имеет в сечении волновой профиль, что обеспечивает устойчивость системы. В полозьях 3 поддона 2 размещены источники магнитного поля, а путепровод состоит из гребней 4, на склонах которых уста-

новлены витки статорной обмотки ограничителя перемещений. В результате взаимодействия источников магнитного поля, размещенных в полозьях 3 поддона, с запитанными током витками статорной обмотки, установленными на гребнях 4 путепровода, возникают силы 5, обеспечивающие магнитное подвешивание поддона 2 с объектом 1 относительно путепровода.

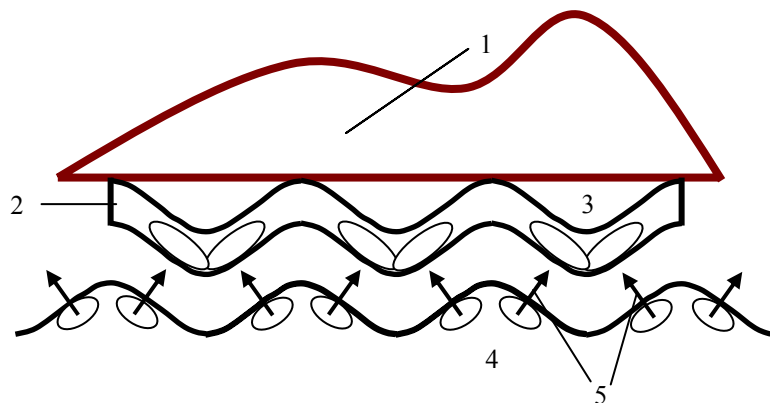


Рис. 14. Общий вид транспортной системы для крупногабаритных и тяжеловесных объектов

Для перемещения объекта 1 на поддоне 2 в продольном направлении некоторые гребни 4 оборудуются дополнительными витками 6, расположенными под углом относительно направления перемещения объекта 1, а на поддоне 2 могут быть установлены дополнительные источники магнитного поля 7 (рис.15). Взаимодействие витков 6 и источников 7 аналогично магнитному взаимодействию на рис. 2. Витки 6 определенной секции запитываются током. При этом появляются силы 8 магнитного взаимодействия источников 7 с витками 6. В результате сложения вертикальной составляющей результирующей сил 8 и результирующей сил 5, направленной вертикально, горизонтальная составляющая результирующей сил 8 обеспечивает перемещение поддона 2 в заданном направлении.

Перемещение объекта 1 на поддоне 2 в поперечном направлении может быть осуществлено следующим способом. Поддон 2 с объектом 1 находятся в состоянии магнитного подвешивания относительно путепровода. При этом число гребней 4 превышает число полозьев 3.

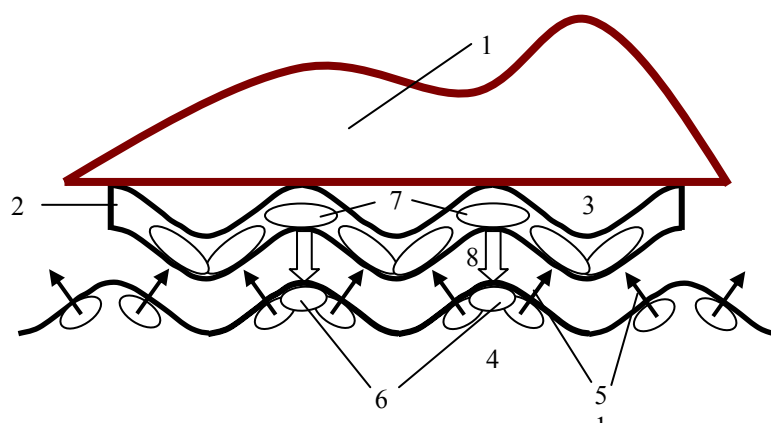


Рис. 15. Транспортная система для крупногабаритных и тяжеловесных объектов с возможностью перемещения в продольном направлении

Для перемещения вправо определенные группы витков, находящиеся на правых склонах гребней 4, кратковременно запитываются током большим по величине тока, требуемого для создания сил 5. В результате возникают магнитные силы 9. Результирующая сил 5 и 9 должна обеспечить подъем поддона 2 с объектом 1 при одновременном смещении в направлении 10 (рис. 16). Витки гребней 4, создающие при взаимодействии с источниками полюсов 3 силы 9 должны быть разнесены на определенное расстояние B , чтобы не создавалось противодействия перемещению поддона 2 в направлении 10. При прекращении действия сил 9 и действии только сил 5 поддон 2 с объектом 1 опускается по левым склонам гребней 4. Таким образом, поддон 2 с объектом 1 перемещается вправо на расстояние, равное расстоянию между гребнями 4 путепровода.

Для перемещения влево ток большего значения подается на витки определенных групп витков статорной обмотки, расположенных на левых склонах гребней 4.

Перемещение различных объектов возможно не только в поперечном и продольном направлениях, но и в вертикальном направлении.

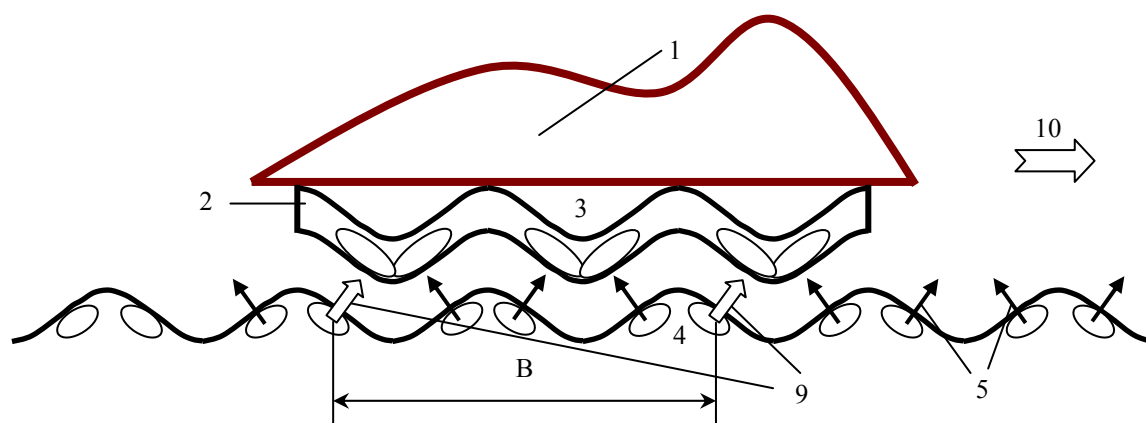


Рис. 16. Перемещение для крупногабаритных и тяжеловесных объектов в поперечном направлении

Несомненным преимуществом систем на магнитной подвеске, определяющим перспективы их использования в технологических процессах, является возможность функционирования под управлением информационных систем. В отличие от используемых автоматизированных линий, требующих оборудование датчиками и детекторами, в системах на магнитной подвеске на основе МПЯ изначально заложен кибернетический эффект, а базовый элемент транспортной системы можно рассматривать как дискретный элемент путепровода.

10. МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ КАК ОСНОВА ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Промышленные мехатронные системы можно рассматривать как основу гибких производственных систем (ГПС). Под гибкостью производства понимается способность быстро и без существенных затрат труда и средств переналаживаться на изготовление новой или модернизированной продукции и на новые технологические процессы с их новой организацией, при этом одновременно стоит вопрос о повышении качества продукции и надежности ее функционирования в последующей эксплуатации у потребителя [14].

Гибкая производственная система имеет многоуровневую иерархическую структуру. Так, нижний уровень составляют средства программного управления отдельными объектами – исполнительными устройствами в технологической линии (например, станка), которые оборудованы собственными микропроцессорными средствами обработки информации и управления, а также информационными устройствами с датчиками состояния объекта и параметров технологической операции. Информация поступает в собственную микропроцессорную часть для обработки и использования в местном контуре управления; кроме того, эта информация (или ее часть) подается на следующий уровень ГПС, которым является гибкий производственный модуль (ГПМ), в состав которого входит несколько станков, роботов и вспомогательные мехатронные устройства. МикроЭВМ ГПМ получает информацию от каждого объекта модуля, согласует их совместную работу, формирует управляющие команды управления на каждый объект своего модуля и передает необходимую информацию о ходе технологического процесса на следующий уровень системы (рис. 17).

Отдельные модули объединяются в гибкие автоматизированные участки (ГАУ) и гибкие автоматизированные технологические линии (ГАЛ). Участок и линия, получая информацию с нижнего уровня и задания с верхнего, автоматически в своей ЭВМ сопоставляют их и формируют команды управления на нижестоящие уровни ГПС. Задание на технологический процесс участка или линии содержится заранее в памяти ЭВМ, причем ее программное обеспечение рассчитано на гибкую перенастройку при изменении изготавливаемой продукции. В состав ГАУ и ГАЛ также входят автоматические устройства контроля качества продукции и дополнительных технологических пара-

метров, характеризующих взаимосвязи модулей, при этом ЭВМ согласовывает и оптимизирует по заданным критериям и алгоритмам совместную работу всех модулей.

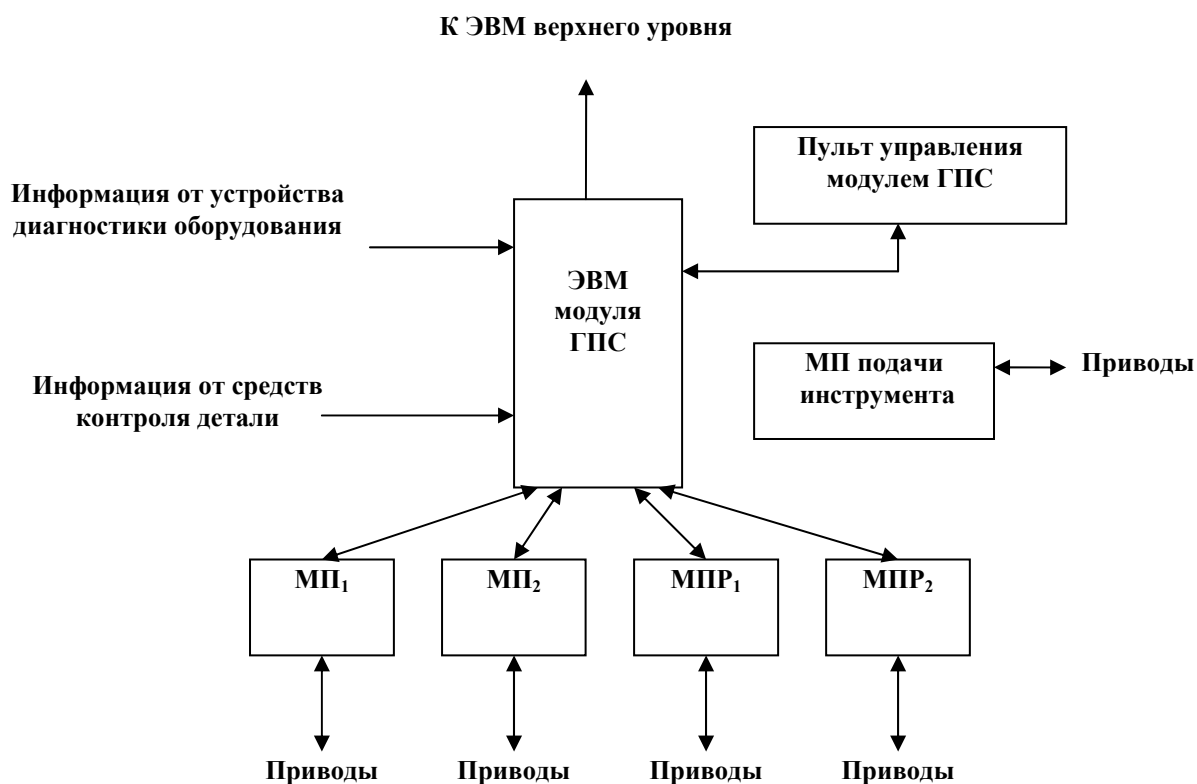


Рис. 17. Схема гибкого производственного модуля:
 МП1, МП2 – микропроцессоры управления станками;
 МПП1, МПП2 – микропроцессоры управления роботами

Кроме ГАУ и ГАЛ в единую ГПС цеха включаются также автоматизированные склады заготовок, деталей, инструмента и выходной продукции цеха, внутрицеховой автоматический транспорт, цеховые автоматизированные системы управления, технологические службы цеха, диспетчерская служба, подразделения технического контроля продукции цеха и др., причем все они подлежат гибко переналаживаемой автоматизации, что достигается с использованием сети ЭВМ с соответствующим программным обеспечением, допускающим гибкую переналадку.

Важное значение в производстве имеет автоматизация всех уровней технического контроля продукции и диагностики оборудования, объединяющая комплекс контрольно-измерительной и диагно-

стической аппаратуры и микропроцессорных средств обработки информации. Измерительные устройства с программным управлением выполняют функции обратной связи, подавая результаты измерений с выхода технологического процесса на его вход для корректировки процесса в соответствии с требуемыми критериями качества. Встроенная в ГПС техника автоматической диагностики состояния определенных элементов системы, а также обрабатывающего инструмента, используется для автоматической подстройки или сигнализации оператору при необходимости его вмешательства в ход технологического процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процессы технического оснащения промышленных предприятий новым технологическим оборудованием связаны с комплексной автоматизацией производства на базе использования вычислительной техники, робототехники и мехатроники. При использовании гибких производственных систем обеспечивается возможность быстрой и экономной перенастройки производства на изменение изготавливаемой продукции и технологии. Вместе с тем существенное уменьшение доли ручного труда в процессе комплексной автоматизации производства позволяет исключить работу человека во вредных и опасных условиях, а также автоматизировать монотонные и тяжелые ручные работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Глебов, Н. А.** Элементы мехатроники [Текст] / Н. А. Глебов, А. Г. Булгаков, Д. П. Гераськин. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2006.
2. **Мехатроника** [Текст] : пер. с яп. / Т. Исии, И. Симояма, Х. Иноуэ [и др.]. – М. : Мир, 1988.
3. **Введение** в мехатронику [Текст] : в 2 ч. : ч. 1 / А. К. Тугенгольд, И. В. Богуславский, Е. А. Лукьянов [и др.] ; ДГТУ. – Ростов н/Д, 2002.
4. **Промышленные роботы: внедрение и эффективность** [Текст] : пер. с яп. / К. Асаи, С. Кигами, Т. Кодзима [и др.]. – М. : Мир, 1987.
5. **Сироткин, О. С.** Мехатронные технологические машины в машиностроении [Текст] / О. С. Сироткин, Ю. В. Подураев, Ю. П. Богачев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2003. – № 4. – С. 2–5.
6. **Макаров, И. М.** Интеллектуальные робототехнические системы: тенденции развития и проблемы разработки [Текст] : ч. 1 / И. М. Макаров, В. М. Лохин [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 9. – С. 22–35.
7. **Иванов, В. С.** Структурный анализ технологических мехатронных систем с параллельной кинематикой [Текст] / В. С. Иванов, Г. Н. Васильев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 5. – С. 37–42.
8. **Белов, М. П.** Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов [Текст] / М. П. Белов. – М. : Академия, 2004.
9. **Черпаков, Б. И.** Автоматизация и механизация производства [Текст] / Б. И. Черпаков, Л. И. Вереина. – М. : Академия, 2004.
10. **Казмиренко, В. Ф.** Электрогидравлические мехатронные модули движения [Текст] / В. Ф. Казмиренко. – М. : Радио и связь, 2001.
11. **Юнусов, Н. Ф.** Система управления фрезерным станком с фазовой системой программного управления на базе микроконтроллера Atmel ATmega128 [Текст] / Н. Ф. Юнусов, И. И. Васильев, Ю. М. Хохлов, Г. И. Ильин, Н. Г. Хайруллин, А. И. Куликов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 8. – С. 44–47.
12. **Эффект «магнитной потенциальной ямы» и новые возможности его использования** [Текст] / А. Н. Киселенко, В. Ф. Свойкин, Е. Ю. Сундуков // Мир транспорта. – 2005. – № 1. – С. 42–47.
13. **С1 2247040 RU B60L 13/10** Базовый элемент транспортной системы [Текст] / Е. Ю. Сундуков, О. Р. Яхимович. – 2003119587/11; Заявл. 27.06.2003 // Изобретения (Заявки и патенты). – 2005. – № 6.
14. **Попов, Е. П.** Основы робототехники [Текст] / Е. П. Попов, Г. В. Письменный. – М. : Высш. шк., 1990.