



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Технология машиностроения»

Д. В. Мельников, В. М. Быстренков

ОСНОВЫ МЕХАТРОНИКИ

ПОСОБИЕ

**для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2018

УДК 62-83-521(075.8)
ББК 32.966я73
М48

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 1 от 04.09.2017 г.)*

Рецензент: декан механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *И. Б. Одарченко*

Мельников, Д. В.
М48 Основы мехатроники : пособие для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» днев. и заоч. форм обучения / Д. В. Мельников, В. М. Быстренков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 39 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Предназначено для развития у студентов практических навыков и умений в области автоматизированного проектирования конструкций машиностроительных изделий.

Для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» дневной и заочной форм обучения.

УДК 62-83-521(075.8)
ББК 32.966я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2018

Определения и терминология мехатроники

Современный термин «Мехатроника» («Mechatronics»), согласно японским источникам [1], был введен фирмой Yaskawa Electric в 1969 году и зарегистрирован как торговая марка в 1972 году. Это название получено комбинацией слов «МЕХАника» и «ЭлекТРОНИКА». Объединение этих понятий в едином словосочетании означает интеграцию знаний в соответствующих областях науки и техники, которая позволила совершить качественный скачок в создании техники новых поколений и производстве новейших видов систем и оборудования.

Аналогичным образом шло развитие электромеханики как науки, использующей достижения электротехники и механики при создании приводных исполнительных систем широкого назначения. Интеграция электромеханики и микроэлектроники привела к появлению комплектных интегрированных мехатронных модулей движения рабочих органов и узлов машин, а также создаваемого на их основе оборудования. Именно в этом направлении наиболее активно развивалась мехатроника в нашей стране.

Однако к началу 80-х годов термин «Мехатроника» утверждается в мировой технической литературе как название целого класса машин с компьютерным управлением движением. При этом интегрируются достижения не только в области электромеханики и электроники, но и систем компьютерного управления движениями машин и сложных пространственных механизмов.

Мехатроника находится только в стадии становления, и поскольку до настоящего времени ее определение и базовая терминология еще полностью не сформированы, то представляется целесообразным рассмотреть определения, выражающие суть предмета мехатроники как в широком, так и в узком (специальном) смысле.

Общее определение мехатроники в широком понимании (1995 год):

«Мехатроника - это новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движением, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники,

информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов».

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

Распространенным графическим символом мехатроники (рисунок 1.1) стала диаграмма с вебсайта RPI (Rensselaer Polytechnic Institute, NY, USA).

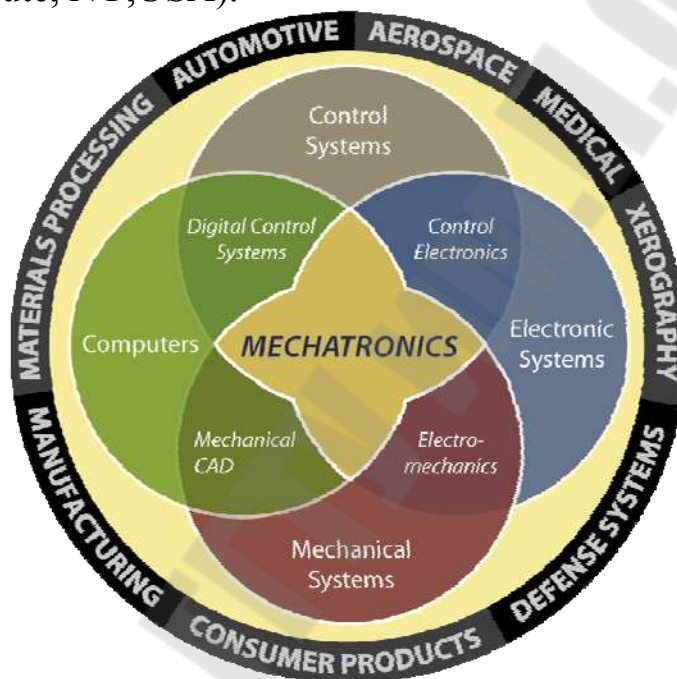


Рисунок 1.1 - Определение мехатроники

Известно несколько определений, опубликованных в периодических изданиях, трудах международных конференций и симпозиумов, где понятие о мехатронике конкретизируется и специализируется. На основерассмотренных выше определений предлагается следующая специальная формулировка предмета мехатроники:

«Мехатроника изучает синергетическое объединение узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами с целью проектирования и производства качественно новых модулей, систем, машин и комплексов машин с интеллектуальным управлением их

функциональными движениями».

Комментарии к определению:

1. Мехатроника изучает особый методологический (концептуальный) подход в построении машин с качественно новыми характеристиками.

Важно подчеркнуть, что этот подход является весьма универсальным и может быть применен в машинах и системах различного назначения. Однако следует отметить, что обеспечение высокого качества управления мехатронной системой можно только с учетом специфики конкретного управляемого объекта. Поэтому изучение мехатроники целесообразно осуществлять по специальностям, предметом которых являются конкретные классы производственных машин и процессов.

2. В определении подчеркивается синергетический характер интеграции составляющих элементов в мехатронных объектах. Синергия (греч.) – это совместное действие, направленное на достижение единой цели. При этом принципиально важно, что составляющие части не просто дополняют друг друга, но объединяются таким образом, что образованная система обладает качественно новыми свойствами. В мехатронике все энергетические и информационные потоки направлены на достижение единой цели – реализации заданного управляемого движения.

3. Интегрированные мехатронные элементы выбираются разработчиком уже на стадии проектирования машины, а затем обеспечивается необходимая инженерная и технологическая поддержка при производстве и эксплуатации машины. В этом радикальное отличие мехатронных машин от традиционных, когда зачастую пользователь был вынужден самостоятельно объединять в систему разнородные механические, электронные и информационно-управляющие устройства различных изготовителей. Именно поэтому многие сложные комплексы (например, некоторые гибкие производственные системы в отечественном машиностроении) показали на практике низкую надежность и невысокую технико-экономическую эффективность.

4. Методологической основой разработки мехатронных систем служат методы параллельного проектирования (concurrent engineering methods). При традиционном проектировании машин с компьютерным управлением последовательно проводится

разработка механической, электронной, сенсорной и компьютерной частей системы, а затем выбор интерфейсных блоков. Парадигма параллельного проектирования заключается в одновременном и взаимосвязанном синтезе всех компонент системы.

5. Базовыми объектами изучения мехатроники являются мехатронные модули, которые выполняют движения, как правило, по одной управляемой координате. Из таких модулей, как из функциональных кубиков, komponуются сложные системы модульной архитектуры.

6. Мехатронные системы предназначены, как следует из определения, для реализации заданного движения. Критерии качества выполнения движения МС являются проблемно-ориентированными, т.е. определяются постановкой конкретной прикладной задачи. Специфика задач автоматизированного машиностроения состоит в реализации перемещения выходного звена - рабочего органа технологической машины (например, инструмента для механообработки). При этом 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, контроль и диагностика текущего состояния критических элементов МС (инструмента, силового преобразователя), управление дополнительными технологическими воздействиями (тепловыми, электрическими, электрохимическими) на объект работ при комбинированных методах обработки, управление вспомогательным оборудованием комплекса (конвейерами, загрузочными устройствами и т.п.), выдача и прием сигналов от устройств электро автоматки (клапанов, реле, переключателей). Такие сложные координированные движения мехатронных систем будем в дальнейшем называть функциональными движениями.

7. В современных МС для обеспечения высокого качества реализации сложных и точных движений применяются методы интеллектуального управления (advanced intelligent control). Данная группа методов опирается на новые идеи в теории управления, современные аппаратные и программные средства вычислительной техники, перспективные подходы к синтезу управляемых движений МС.

Следует отметить, что мехатроника как новая область науки и техники, находится в стадии своего становления, ее терминология, границы и классификационные признаки еще строго не определены. Думается, что на нынешнем этапе первостепенное значение имеет выявление сущности новых принципов построения и тенденций развития машин с компьютерным управлением движением, а соответствующие семантические понятия и определения безусловно со временем устоятся. 2

Принципы построения мехатронных систем

Рассмотрим обобщенную структуру машин с компьютерным управлением, ориентированных на задачи автоматизированного машиностроения, которая представлена на рисунок 1. В основу построения данной схемы положена широко известная структура автоматических роботов, введенная академиком Е.П. Поповым.

Внешней средой для машин рассматриваемого класса является технологическая среда, которая содержит различное основное и вспомогательное оборудование, технологическую оснастку и объекты работ.

При выполнении мехатронной системой заданного функционального движения объекты работ оказывают возмущающие воздействия на рабочий орган. Примерами таких воздействий могут служить силы резания для операций механообработки, контактные силы и моменты сил при сборке, сила реакции струи жидкости при операции гидравлической резки.

Внешние среды укрупненно можно разделить на два основных класса: детерминированные и недетерминированные. К детерминированным относятся среды, для которых параметры возмущающих воздействий и характеристики объектов работ могут быть заранее определены с необходимой для проектирования МС степенью точности.

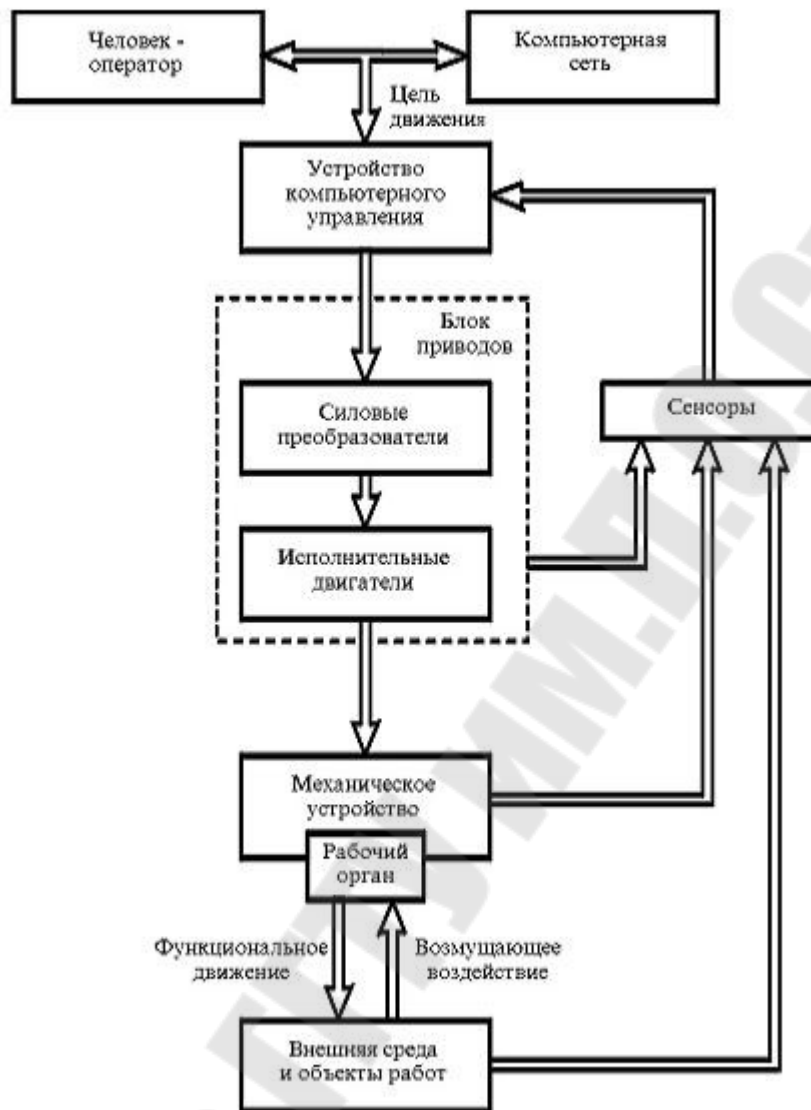


Рисунок 2.1 - Обобщенная схема машины с компьютерным управлением движением

Некоторые среды являются недерминированными по своей природе (например, экстремальные среды: подводные, подземные и т.п.). Характеристики технологических сред как правило могут быть определены с помощью аналитико-экспериментальных исследований и методов компьютерного моделирования. Например, для оценки сил резания при механообработке проводят серии экспериментов на специальных исследовательских установках, параметры вибрационных воздействий измеряют на вибростендах с последующим формированием математических и компьютерных моделей возмущающих воздействий на основе экспериментальных

данных. Однако для организации и проведения подобных исследований зачастую требуются слишком сложные и дорогостоящие аппаратура и измерительные технологии. Так для предварительной оценки силовых воздействий на рабочий орган при операции роботизированного удаления облоя с литых изделий необходимо измерять фактические форму и размеры каждой заготовки. В таких случаях целесообразно применять методы адаптивного управления, которые позволяют автоматически корректировать закон движения МС непосредственно в ходе выполнения операции. В состав традиционной машины входят следующие основные компоненты: механическое устройство, конечным звеном которого является рабочий орган; блок приводов, включающий силовые преобразователи и исполнительные двигатели; устройство компьютерного управления, верхним уровнем для которого является человек-оператор, либо другая ЭВМ, входящая в компьютерную сеть; сенсоры, предназначенные для передачи в устройство управления информации о фактическом состоянии блоков машины и движении МС.

Таким образом, наличие трех обязательных частей - механической (точнее электромеханической), электронной и компьютерной, связанных энергетическими и информационными потоками, является первичным признаком, отличающим мехатронные системы. Электромеханическая часть включает механические звенья и передачи, рабочий орган, электродвигатели, сенсоры и дополнительные электротехнические элементы (тормоза, муфты). Механическое устройство предназначено для преобразования движений звеньев в требуемое движение рабочего органа. Электронная часть состоит из микроэлектронных устройств, силовых преобразователей и электроники измерительных цепей. Сенсоры предназначены для сбора данных о фактическом состоянии внешней среды и объектов работ, механического устройства и блока приводов с последующей первичной обработкой и передачей этой информации в устройство компьютерного управления (УКУ). В состав УКУ мехатронной системы обычно входят компьютер верхнего уровня и контроллеры управления движением.

Устройство компьютерного управления выполняет следующие основные функции:

I. Управление процессом механического движения мехатронного модуля или многомерной системы в реальном времени с обработкой сенсорной информации.

II. Организация управления функциональными движениями МС, которая предполагает координацию управления механическим движением МС и сопутствующими внешними процессами. Как правило, для реализации функции управления внешними процессами используются дискретные входы/выходы устройства.

III. Взаимодействие с человеком-оператором через человеко-машинный интерфейс в режимах автономного программирования (off-line) и непосредственно в процессе движения МС (режим on-line).

IV. Организация обмена данными с периферийными устройствами, сенсорами и другими устройствами системы.

Задачей мехатронной системы является преобразование входной информации, поступающей с верхнего уровня управления, в целенаправленное механическое движение с управлением на основе принципа обратной связи. Характерно, что электрическая энергия (реже гидравлическая или пневматическая) используется в современных системах как промежуточная энергетическая форма.

Суть мехатронного подхода к проектированию [2] состоит в интеграции в единый функциональный модуль двух или более элементов возможно даже различной физической природы. Другими словами, на стадии проектирования из традиционной структуры машины исключается как отдельное устройство по крайней мере один интерфейс при сохранении физической сущности преобразования, выполняемого данным модулем.

В идеальном для пользователя варианте мехатронный модуль, получив на вход информацию о цели управления, будет выполнять с желаемыми показателями качества заданное функциональное движение. Аппаратное объединение элементов в единые конструктивные модули должно обязательно сопровождаться разработкой интегрированного программного обеспечения. Программные средства МС должны обеспечивать непосредственный переход от замысла системы через ее математическое моделирование к управлению функциональным движением в реальном времени.

Применение мехатронного подхода при создании машин с компьютерным управлением определяет их основные преимущества по сравнению с традиционными средствами автоматизации:

- относительно низкую стоимость благодаря высокой степени интеграции, унификации и стандартизации всех элементов и интерфейсов;
- высокое качество реализации сложных и точных движений вследствие применения методов интеллектуального управления;
- высокую надежность, долговечность и помехозащищенность;
- конструктивную компактность модулей (вплоть до миниатюризации в микромашинах);
- улучшенные массогабаритные и динамические характеристики машин вследствие упрощения кинематических цепей;
- возможность комплексирования функциональных модулей в сложные системы и комплексы под конкретные задачи заказчика.

Современные тенденции развития мехатронных систем

Объемы мирового производства мехатронных устройств ежегодно увеличиваются, охватывая все новые сферы. Сегодня мехатронные модули и системы находят широкое применение в следующих областях:

- станкостроение и оборудование для автоматизации технологических процессов;
- робототехника (промышленная и специальная);
- авиационная, космическая и военная техника;
- автомобилестроение (например, антиблокировочные системы тормозов, системы стабилизации движения автомобиля и автоматической парковки);
- нетрадиционные транспортные средства (электровелосипеды, грузовые тележки, электророллеры, инвалидные коляски); офисная техника (например, копировальные и факсимильные аппараты);
- элементы вычислительной техники (например, принтеры, плоттеры, дисководы);
- медицинское оборудование (реабилитационное, клиническое, сервисное);
- бытовая техника (стиральные, швейные, посудомоечные и

другие машины);

- микромашины (для медицины, биотехнологии, средств телекоммуникации);
- контрольно-измерительные устройства и машины;
- фото- и видеотехника;
- тренажеры для подготовки пилотов и операторов;
- шоу-индустрия (системы звукового и светового оформления).

Стремительное развитие мехатроники в 90-х годах как нового научно-технического направления обусловлено целым рядом факторов, среди которых ключевыми являются следующие: новые тенденции мирового индустриального развития; развитие фундаментальных основ и методологии мехатроники (базовые научные идеи, принципиально новые технические и технологические решения), активность специалистов в научно-исследовательской и образовательной сферах.

Можно выделить следующие тенденции изменения и ключевые требования мирового рынка в рассматриваемой области:

- необходимость выпуска и сервиса оборудования в соответствии с международной системой стандартов качества, сформулированных в стандарте ISO 9000;

- интернационализация рынка научно-технической продукции и, как следствие, необходимость активного внедрения в практику форм и методов международного инжиниринга и трансфера технологий;

- повышение роли малых и средних производственных предприятий в экономике благодаря их способности к быстрому и гибкому реагированию на изменяющиеся требования рынка;

- бурное развитие компьютерных систем и технологий, средств телекоммуникации (в странах ЕЭС к 2000 году до 60% роста Совокупного Национального Продукта ожидается именно за счет этих отраслей); прямым следствием этой общей тенденции является интеллектуализация систем управления механическим движением и технологическими функциями современных машин.

Анализ указанных тенденций показывает, что достигнуть качественно нового уровня основного технологического оборудования на основе традиционных подходов уже практически нереально. По данным прогноза, подготовленного по заданию Министерства науки и технологий РФ в 1998 году по материалам европейских выставок и конференций, в ближайшие годы

ожидается резкий рост отношения "Качество/Цена" для нетрадиционных производственных машин (НПМ), выполненных на основе новых механизмов параллельных соединений и гексаподов. Так, к 2005 году этот показатель для НПМ (на примере обрабатывающих центров) в 1.5-2 раза будет выше по сравнению с традиционным станочным оборудованием.

Развитие мехатроники как междисциплинарной научно-технической области помимо очевидных технико-технологических сложностей ставит и целый ряд новых организационно-экономических проблем. Современные предприятия, приступающие к разработке и выпуску мехатронных изделий, должны решить в этом плане следующие основные задачи:

- структурная интеграция подразделений механического, электронного и информационного профилей (которые, как правило функционировали автономно) в единые проектные и производственные коллективы;

- подготовка "мехатронно-ориентированных" инженеров и менеджеров, способных к системной интеграции и руководству работой узкопрофильных специалистов различной квалификации; интеграция информационных технологий из различных научно-технических областей (механика, электроника, компьютерное управление) в единый инструментарий для компьютерной поддержки мехатронных задач;

- стандартизация и унификация всех используемых элементов и процессов при проектировании и производстве мехатронных систем.

Решение перечисленных проблем зачастую требует преодоления сложившихся на предприятии традиций в управлении и амбиций менеджеров среднего звена, привыкших решать только свои узкопрофильные задачи. Именно поэтому средние и малые предприятия, которые могут легко и гибко варьировать свою структуру, оказываются более подготовленными к переходу к производству мехатронной продукции.

4 Уровни интеграции мехатронных систем

В качестве основного классификационного признака в мехатронике представляется целесообразным принять уровень интеграции составляющих элементов. В соответствии с этим

признаком можно разделять мехатронные системы по уровням или по поколениям, если рассматривать их появление на рынке наукоемкой продукции исторически.

Мехатронные модули первого уровня представляют собой объединение только двух исходных элементов. Типичным примером модуля первого поколения может служить "мотор-редуктор", где механический редуктор и управляемый двигатель выпускаются как единый функциональный элемент.

Мехатронные системы на основе этих модулей нашли широкое применение при создании различных средств комплексной автоматизации производства (конвейеров, транспортеров, поворотных столов, вспомогательных манипуляторов).

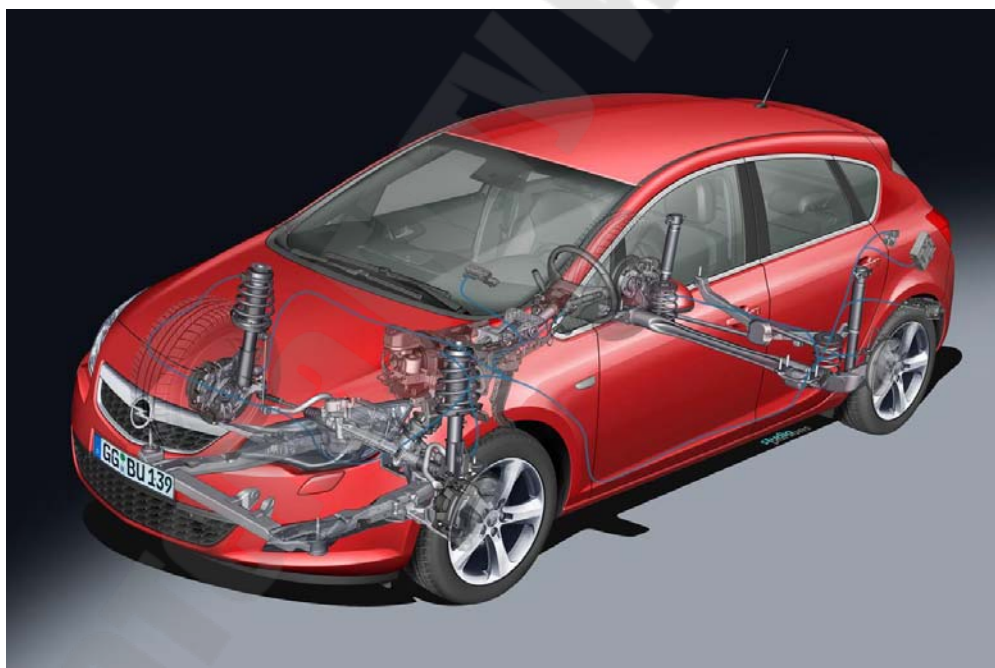
Мехатронные модули второго уровня появились в 80-х годах в связи с развитием новых электронных технологий, которые позволили создать миниатюрные датчики и электронные блоки для обработки их сигналов.

Объединение приводных модулей с указанными элементами привела к появлению мехатронных модулей движения, состав которых полностью соответствует введенному выше определению, когда достигнута интеграция трех устройств различной физической природы: механических, электротехнических и электронных. На базе мехатронных модулей данного класса созданы управляемые энергетические машины (турбины и генераторы), станки и промышленные роботы с числовым программным управлением. Развитие третьего поколения мехатронных систем обусловлено появлением на рынке сравнительно недорогих микропроцессоров и контроллеров на их базе и направлено на интеллектуализацию всех процессов, протекающих в мехатронной системе, в первую очередь - процесса управления функциональными движениями машин и агрегатов. Одновременно идет разработка новых принципов и технологий изготовления высокоточных и компактных механических узлов, а также новых типов электродвигателей (в первую очередь высокомоментных, бесколлекторных и линейных), датчиков обратной связи и информации. Синтез новых прецизионных, информационных и измерительных наукоемких технологий дает основу для проектирования и изготовления интеллектуальных мехатронных модулей и систем. В дальнейшем мехатронные машины и системы будут объединяться в

мехатронные комплексы на базе единых интеграционных платформ. Цель создания таких комплексов - добиться сочетания высокой производительности и одновременно гибкости технико-технологической среды за счет возможности ее реконфигурации, что позволит обеспечить конкурентоспособность и высокое качество выпускаемой продукции на рынках XXI века.

5 Мехатронные системы в мобильных машинах

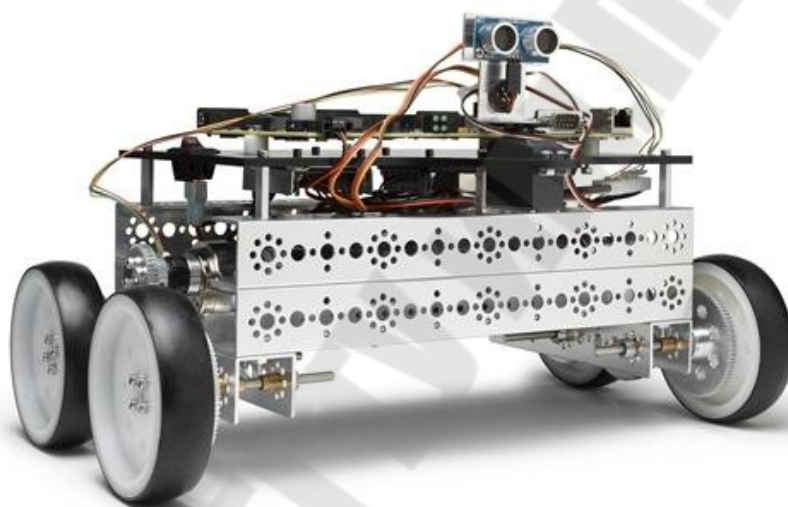
Проблема мехатронных систем на транспорте и в тяговых машинах различного назначения возникла в последние годы, когда автоматика пришла в автомобили и тракторы. Главным образом — в зарубежные автомобили и тракторы. Легко предположить появление и прогрессирующего развития на автомобилях и тракторах и отечественного производства в ближайшем будущем автоматике, а вместе с ней и развития на них мехатронных систем.



Уже утвердившееся в техническом мире понятие «мехатроники» в самом общем толковании состоит в следующем: всякий мехатронный объект, или иначе мехатронный комплекс, представляет собой неразрывное единство трёх компонентов — механических агрегатов, электро- или электрогидравлических устройств управления ими и автоматике управления. Эти три

составляющие находятся в сложном синергичном взаимодействии и неразрывной функциональной и информационной связи. Ведущую и определяющую роль в этой триаде по нашему убеждению играет автоматика, самая молодая из них, собственно и породившая это техническое направление.

Появление в мировом авто- и тракторостроении автоматике, особенно компьютерной микропроцессорной автоматике, привело к перестройке и зарубежной системы проектирования, к переводу её на мехатронные рельсы, т. е. на методы единого комплексного проектирования всех трёх составляющих мехатронных комплексов.



Методология проектирования в технике вообще консервативна, а наши проектировщики, как показывает сегодняшняя практика проектирования автомобилей и тракторов, не обучены комплексному, системному, «мехатронному» подходу к проектированию. Мехатронное проектирование требует от проектировщиков каждой из трёх областей мехатроники расширения их знаний на сопредельные мехатронные области, что требует от них повышения квалификации, не принятой пока в области технической подготовки (как в медицине), а от нашей системы высшей школы — подготовки более универсальных специалистов, чем она готовит сейчас.

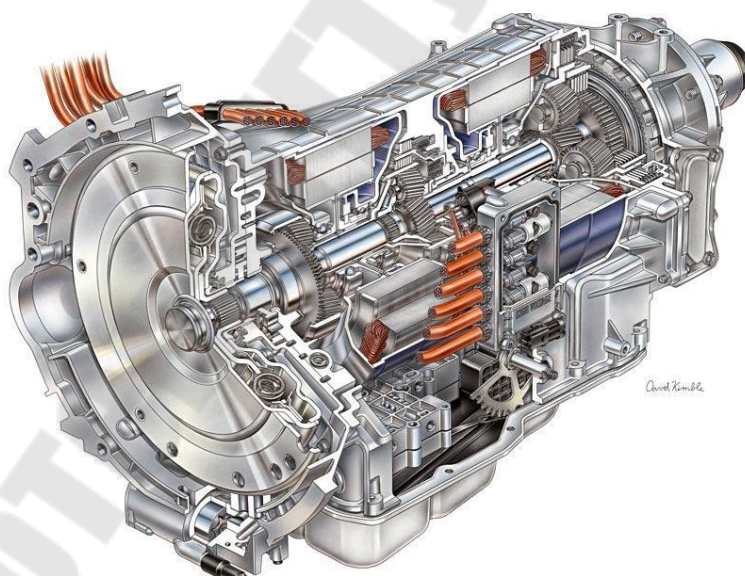
Развитие мехатроники на автомобилях и на производственных машинах имеет свои особенности. На автомобилях экспансия автоматике, а следовательно, и мехатроники, преимущественно

началась в сфере устройств комфорта, на тракторах - в сфере силовых агрегатов.

Первым из мехатронных агрегатов, как это исторически повелось, там стал двигатель с системой топливоподачи и автоматикой её регулирования.

Вторым — система силового управления навесным устройством (EHR), мировым лидером в производстве которой является фирма Bosch.

Третьим — трансмиссия. Тут процесс начался с появления механических трансмиссий с переключением ступеней под нагрузкой. На них появились гидравлические, затем электрогидравлические устройства переключения, а затем и электронная автоматика управления переключениями. Западные фирмы (Германская ZF и другие) начали поставлять автомобильным и тракторным заводам и производить на продажу трансмиссии в таком именно полном комплекте. С появлением затем в зарубежном тракторостроении бесступенчатых трансмиссий (пока ещё только гидрообъёмных двухпоточных) это явление упрочилось.



Сила и выгода мехатронного исполнения агрегатов особенно ярко видна на примере трансмиссий, которые при наличии и отсутствии автоматики управления при одинаковых других компонентах комплекса являют разительный контраст в характеристиках как их самих, так и оборудованных ими тракторов и автомобилей. В мехатронном виде они обеспечивают на порядок более выгодные характеристики практически по всем

показателям работы машин: техническим, экономическим и эргономическим.

Сравнивая мехатронные комплексы с их не мехатронными прообразами по техническому совершенству легко увидеть, что первые значительно превосходят последних не только по общим показателям, но и по уровню и качеству проектирования. Это не удивительно: синергический эффект проявляется не только в конечном продукте, но и в процессе проектирования вследствие и нового подхода к проектированию и более высокой по необходимости квалификации проектировщиков.

Сравнение цены этих объектов ещё более разительно. Мехатронные комплексы вследствие применения в автоматике микропроцессорной технологии, дающей весьма дешёвые устройства автоматике, по цене очень не много дороже прообразов, зато по совокупному показателю цена/качество превосходят их на порядок.

Это обстоятельство снимает вопрос об экономической эффективности мехатронных агрегатов, оставляя только вопрос о готовности современной промышленности к организации и выполнению проектирования и изготовления таких технических систем.

Позиционные и следящие электропневматические приводы

В промышленности широко и успешно применяются пневматические приводы. Современное производство предъявляет к ним разнообразные и все более жесткие требования. При этом растет потребность в электропневматических позиционных и следящих приводах, способных перемещать механический объект управления, связанный со штоком пневмоцилиндра, по желаемому закону и с высокой точностью останавливать его в любой требуемой позиции. Наличие таких приводов позволяет, используя преимущества промышленной пневматики, решать новые классы задач, создавать эффективные технологические машины и успешно автоматизировать разнообразные технологические процессы.

Существует несколько типов комплектных электропневматических позиционных и следящих приводов, предназначенных для применения в разнообразных отраслях

промышленности и созданных на базе современных принципов мехатроники. Такие приводы отличаются компактностью, механической прочностью, высокой надежностью и большим ресурсом, способны работать в жестких условиях эксплуатации, обладают химической стойкостью. Эти свойства достигнуты в результате тщательного подбора и органичного объединения прецизионных пневмомеханических и микроконтроллерных элементов, применения современных информационных и вычислительных технологий и методов автоматического управления. Несомненными преимуществами предлагаемых мехатронных приводов являются высокая гибкость компьютерного управления движением и способность обеспечить эффективную интеграцию приводов в сложные автоматически действующие технологические системы.

Для жестких условий эксплуатации применяются позиционные приводы с устройствами дистанционного управления. Они выполнены на основе высокотехнологичных и надежных пневмоцилиндров, отвечающих требованиям стандартов DIN/ISO 6431 (рисунок 6.1а и 6.1б). Цилиндры имеют специальное покрытие, защищающее их от вредного действия факторов окружающей среды. Штоки выполнены из нержавеющей стали и дополнительно защищены гофрированными чехлами. Непосредственно на цилиндре расположен прецизионный датчик положения и первичный преобразователь его выходного сигнала в сигнал токовой петли 4–20 мА. Это позволяет повысить помехозащищенность и упростить интеграцию приводов в АСУ ТП.



Рисунок 6.1 - Электropневматические позиционные приводы с устройствами дистанционного управления

Управление движением поршня организовано по принципу обратной связи, и привод представляет собой следящую систему. Реализация алгоритма управления возложена на микроконтроллер, который выполняет несколько функций (рисунок 6.2).

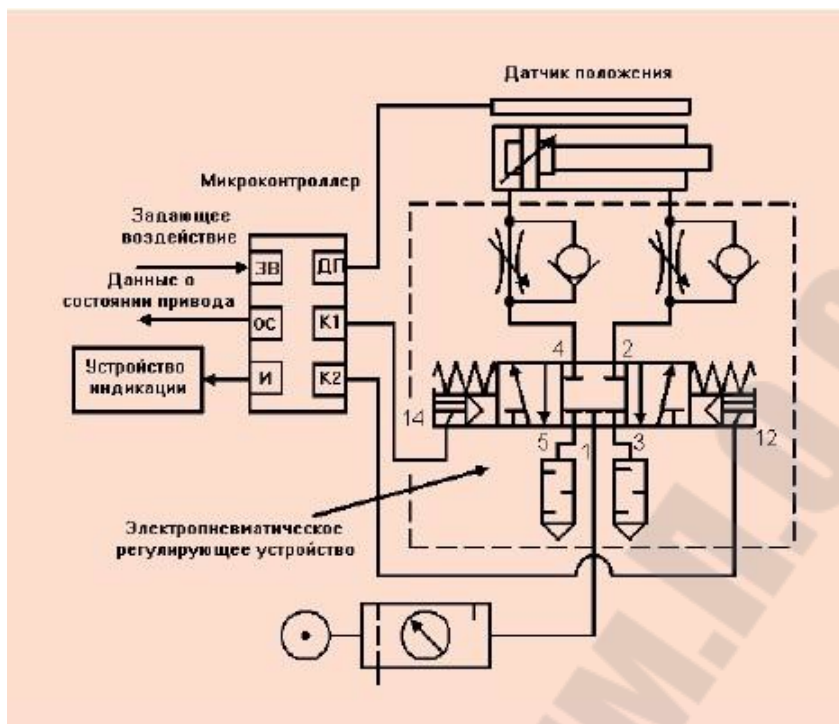


Рисунок 6.2 - Схема электропневматического следящего привода Микроконтроллер принимает задающее воздействие, несущее информацию

о желаемом положении поршня, опрашивает датчик положения, вычисляет рассогласование, в функции от этого рассогласования формирует команды на электропневматическое регулирующее устройство привода и выдает данные о состоянии привода на устройство управления более высокого ранга и на устройство цифровой индикации. В зависимости от требуемой точности и быстродействия в качестве электропневматического регулирующего устройства может выступать пятиканальный трехпозиционный электропневматический распределитель дискретного действия с закрытой центральной позицией, группа клапанов или пропорциональные электропневматические устройства. Команды контроллера переключают регулирующее устройство таким образом, что поршень всегда движется в сторону уменьшения рассогласования. При достижении требуемого положения поршня распределитель переключается в центральную позицию, что приводит к останову штока пневмоцилиндра. Выбор датчиков, измеряющих текущее положение поршня и существенно влияющих на качество приводов. Эти датчики могут быть как контактного, так и бесконтактного действия. Большой опыт промышленной эксплуатации позиционных и следящих приводов

свидетельствует о том, что наиболее удачными оказываются бесконтактные датчики, действие которых основано на магнестрикционном эффекте и магнитных связях измерительного элемента датчика с магнитом на поршне. Датчики легко монтируются как внутри, так и снаружи пневмоцилиндра, обладают повышенным ресурсом за счет отсутствия трущихся пар и малочувствительны к ударным нагрузкам. Важным достоинством используемых в приводах датчиков является абсолютное измерение положения поршня. При их использовании, в отличие от инкрементальных датчиков, не требуется производить поиск начальной координаты. Привод готов к работе сразу же после включения и не теряет позицию при прерывании электропитания.

Для обеспечения высокой степени защиты от действия неблагоприятных факторов окружающей среды микропроцессорное и электропневматическое устройства управления приводами, устройства подготовки воздуха, ручного управления и отображения информации размещены в отдельном электропневматическом шкафу (рис. 6.3).

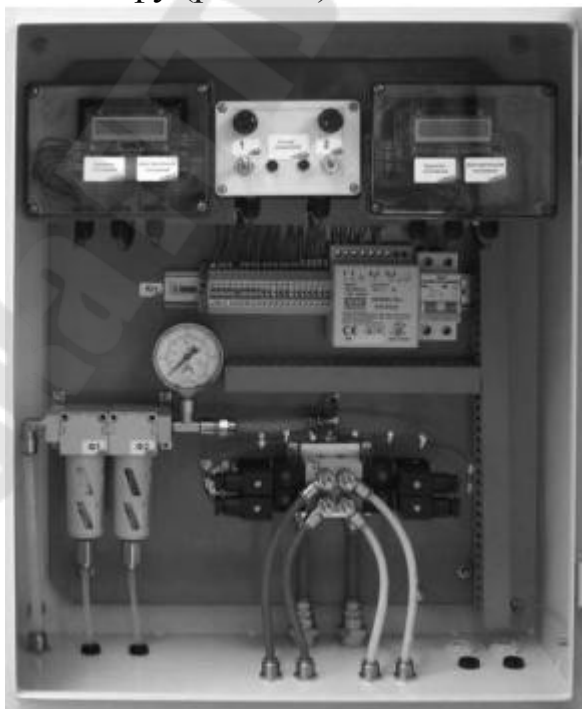


Рисунок 6.3 - Шкаф серии ВОХ для дистанционного управления электропневматическими позиционными и следящими приводами

Шкаф может быть удален от цилиндра на расстояние до 20 м и имеет специальное покрытие для работы в химически агрессивных средах. ресурсы устройства управления достаточны для управления несколькими приводами. В настоящее время существуют электропневматически позиционные приводы с аналоговыми управляющими сигналами по току и напряжению. возможно использование управляющих воздействий в виде цифрового кода. Тип сигнала и его характеристики выбираются в зависимости от требований к системе, в которую интегрируется привод. Рассмотренные приводы при давлении питания 6 бар способны перемещать объекты управления со скоростью до 20 мм/с и имеют погрешность позиционирования, не превышающую 1 мм. Максимальный диаметр применяемого в составе позиционного привода цилиндра 40 серии составляет 320 мм, а 61 серии – 125 мм. ход поршня может быть любым и выбирается потребителем при формировании заказа. Важно отметить, что имеющиеся микропроцессорные устройства управления обеспечивает интеграцию привода или группы приводов в состав единой системы управления технологическими процессами, диагностику и удаленный мониторинг состояния привода. при этом контролируются состояние привода, значения задающего воздействия и погрешности позиционирования, которые для удобства использования и настройки выводятся на цифровой индикатор или иное средство визуализации данных.

Интересна также серия компактных электропневматических позиционных приводов в герметичном исполнении, обладающих более высоким быстродействием благодаря реализации многоскоростного режима работы (рис. 6.4).

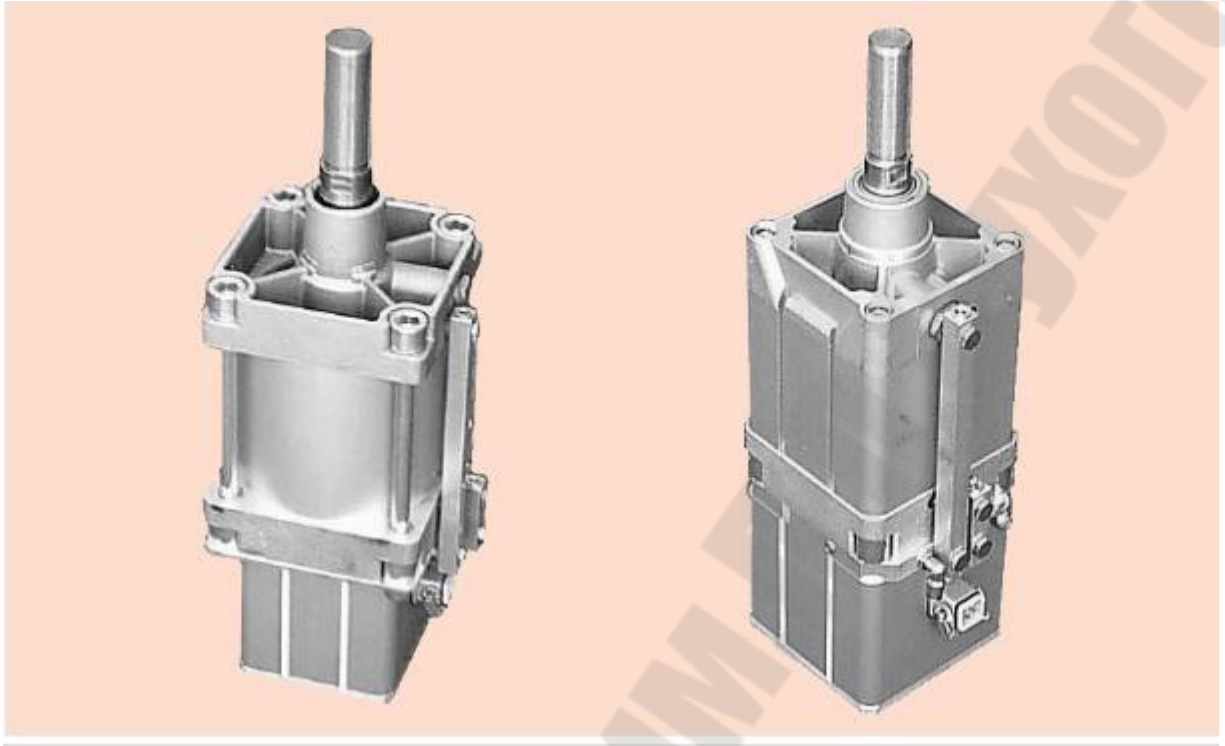


Рисунок 6.4 - Компактные многоскоростные электропневматические позиционные приводы в герметичном исполнении

Отличительной особенностью данной серии является комплектное исполнение привода. датчик положения встроен в цилиндр, а устройство управления размещено в небольшом герметичном контейнере на задней крышке пневматического цилиндра. Это позволяет использовать приводы в условиях ограниченного пространства и гарантирует высокую степень защищенности IP65.

Помимо электропневматических позиционных приводов линейного перемещения существует ряд позиционных приводов, выполненных на базе поворотных цилиндров (рис. 6.5).

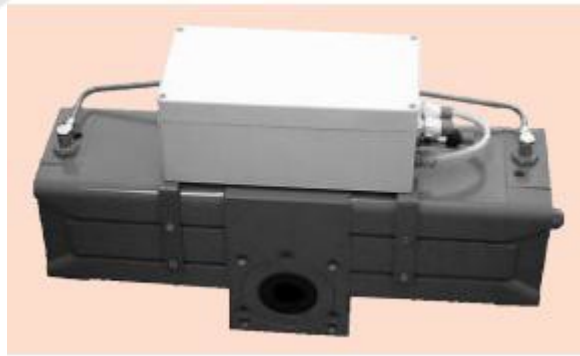


Рисунок 6.5 – Электропневматический позиционный

привод на базе поворотного пневмоцилиндра

В частности, они удобны для прецизионного управления запорно-регулирующей аппаратурой и точного дозирования жидких, газообразных и сыпучих компонентов. Такие приводы обладают значительным вращающим моментом и высокой точностью позиционирования. В зависимости от условий эксплуатации есть возможность выбрать варианты исполнения с размещением устройства управления как на самом цилиндре, так и в удалении от него с применением шкафов управления. Следует отметить, что решения в области следящих и позиционных приводов зависят не только от условий эксплуатации, но и от требуемых функциональных возможностей приводов. Их расширение обеспечивается при применении более развитых электропневматических регулирующих устройств на базе элементов дискретного действия, реализующих многоскоростное управление движением поршня.

Достигается скорость движения до 100 мм/с, время переходного процесса не более 1,5 с и погрешность позиционирования 0,8 мм. При этом следящие приводы успешно справляются с решением задачи воспроизведения изменяющихся во времени, например, гармонических воздействий. При амплитуде гармонического задающего воздействия 50 мм и изменении его круговой частоты от 0,1 до 1 рад/с динамическая погрешность лежит в диапазоне от 2,5 до 8 мм. Еще более высокими показателями обладают приводы, построенные на базе пропорциональных компонентов, хотя они представляют собой более сложные системы. При их использовании обеспечивается скорость движения до 300 мм/с, погрешность позиционирования 0,1 ... 0,3 мм, время переходного процесса не более 0,6 с.

Во многих практически важных случаях следящие электропневматические приводы незаменимы при создании сложных комплексов регулирования и стабилизации технологических параметров. Характерным примером такого комплекса является флотационная установка, в составе которой следящий привод является частью системы стабилизации уровня технологической жидкости и осуществляет пропорциональное регулирование положения запирающего устройства ванны (рис. 6.6).



Рисунок 6.6 – Система стабилизации уровня жидкости с электропневматическим следящим приводом

Задача системы стабилизации заключается в поддержании требуемого уровня жидкости в ванне в соответствии с поступающим из АСУТП сигналом управления несмотря на дестабилизирующее влияние неравномерности подачи исходного материала. Электропневматический следящий привод представляет собой замкнутый по положению поршня внутренний контур регулирования системы стабилизации уровня, его задача – поддерживать с требуемой точностью координату положения поршня и связанного с ним запирающего устройства. Важно подчеркнуть, что динамические свойства внутреннего контура регулирования, а значит и применяемого электропневматического привода, существенно влияют на качество производственной системы в целом. с учетом этого обстоятельства выбор привода требует применения характерного для мехатроники системного подхода и представляет собой непростую задачу. Возможность эффективного применения электропневматических следящих и позиционных приводов в сложных технологических системах подтверждена большим положительным опытом их промышленной эксплуатации. Это позволяет уверенно рекомендовать такие приводы для широкого использования во вновь создаваемых и модернизируемых системах автоматизации.

Ключевым элементом мехатронных систем является модуль движения. Одним из самых первых таких модулей стал в свое время мотор-редуктор (рис. 6.7), объединивший в себе приводной

электрический двигатель и промышленный механический редуктор. Его использование значительно упростило разработку и изготовление машины, ее надежность.

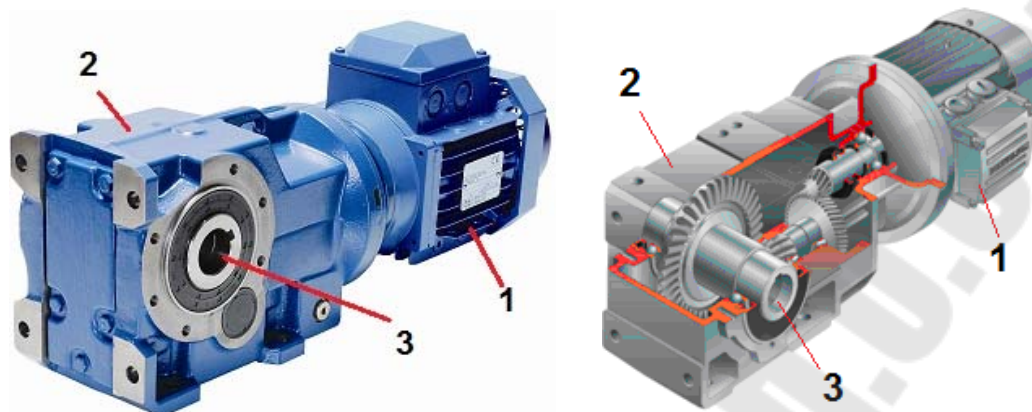


Рисунок 6.7 – Мотор-редукторы

Дальнейшая миниатюризация средств силовой и управляющей электроники дала возможность конструктивно объединить с электромеханическими узлами еще и электронные. Появились интеллектуальные мехатронные модули (ИММ) в виде двигателей и мотор-редукторов с силовыми преобразователями (преобразователями частоты) на борту (рис. 6.8). Подобные устройства благодаря наличию в их составе вычислительных устройств способны автономно выполнять перемещения рабочих органов машин без постоянного контроля со стороны системы автоматизации верхнего уровня.

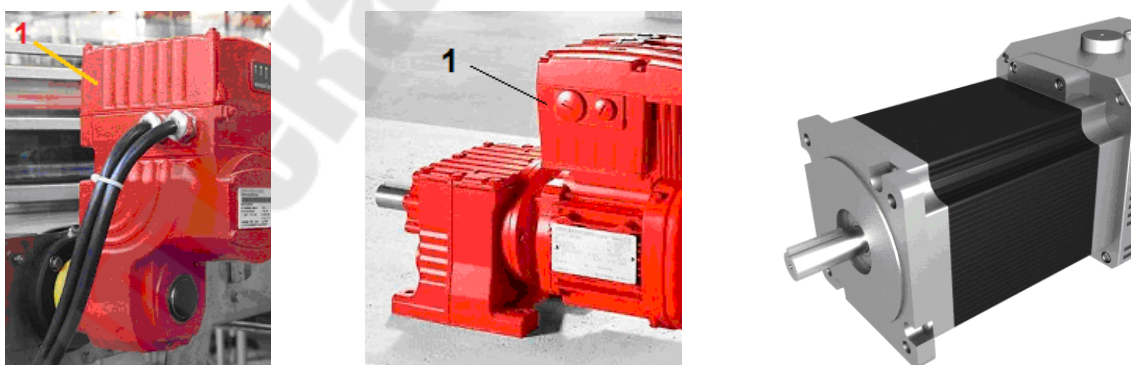


Рисунок 6.8 – Двигатели и мотор-редукторы со встроенными преобразователями частоты (1)

Для нужд машиностроения (в первую очередь для станков с числовым программным управлением и промышленных роботов)

разработаны мехатронные модули, объединяющие в себе не только электромеханические узлы, но и сам рабочий орган машины:

электрошпиндель (электродвигатель + шпиндельный узел для закрепления режущего инструмента, рис. 6.9,а);

поворотный стол для закрепления обрабатываемой детали (рис. 6.9,б);

мотор-колесо (объединение двигателя и колеса транспортного средства, рис. 6.9,в) и т.п.

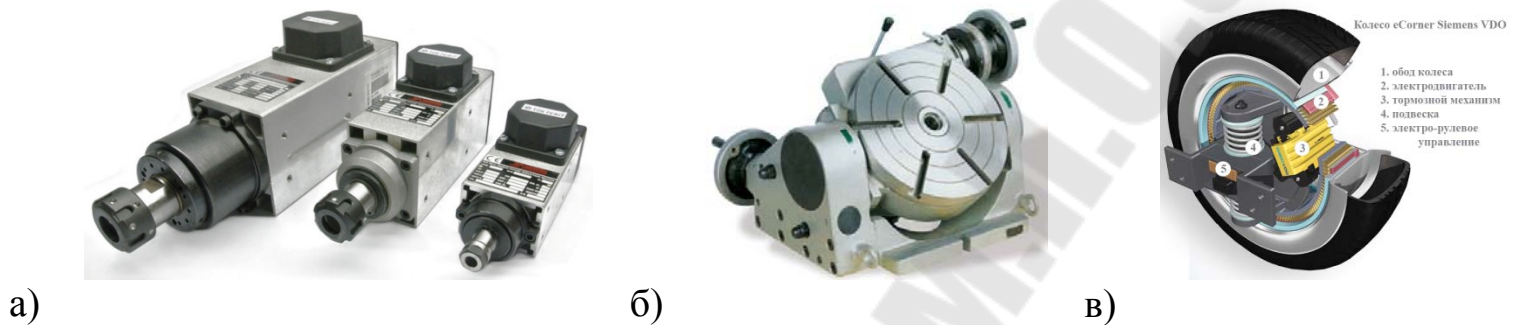


Рисунок 6.9 – Мехатронные модули с интегрированным рабочим органом

Большое количество механизмов имеет поступательное движение рабочего органа (механизмы подачи станков, некоторые промышленные роботы и т.п.). Для них разработаны мехатронные модули поступательного движения. На рис. 6.10,а показан разрез электроцилиндра, состоящего из электродвигателя 1, винта 2 (одновременно является ротором двигателя) и неподвижной гайки 3. Два последних образуют шарико-винтовую передачу, в которой вращение винта приводит к его поступательному перемещению. На рис. 6.10,б показан электроцилиндр в сборе.

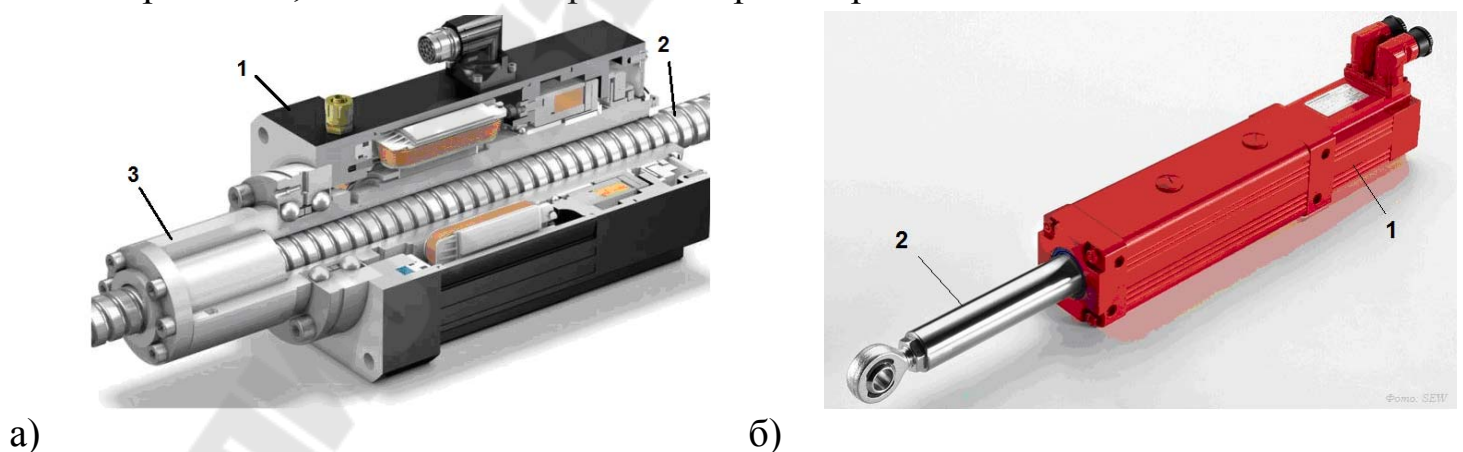
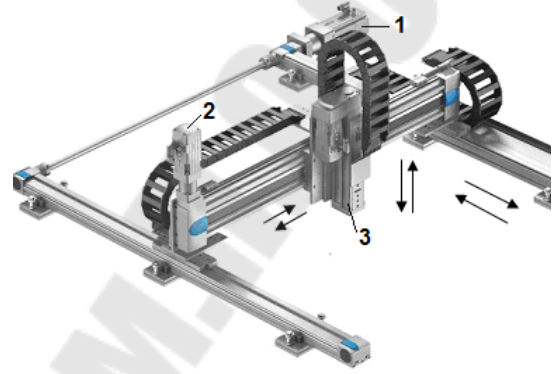
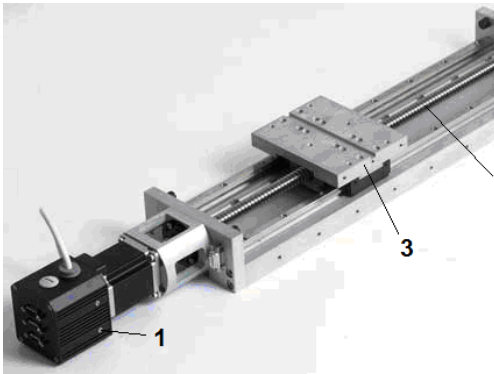


Рисунок 6.10 – Электроцилиндры

Той же цели можно достичь с помощью т.н. «линейных осей».

На рис. 11,а изображен комплектный модуль, в состав которого входит серводвигатель 1 с преобразователем частоты и электромагнитным тормозом, винт 2 и суппорт с гайкой 3. Вращение вала двигателя и винта приводит к поступательному перемещению суппорта. На рис. 6.11,б можно видеть мехатронный линейный модуль, обеспечивающий движение вдоль трех осей.



а)

б)

Рисунок 6.11 – Линейные оси (а – однокоординатная; б – трехкоординатная)

Значительного упрощения механической части можно достичь путем использования линейных двигателей вместо обычных двигателей вращательного движения (рис. 6.12). Линейный двигатель не имеет вращающихся частей. Его подвижная часть (1 на рис. 6.12) имеет обмотку, создающую магнитное поле. Это поле отталкивается от неподвижной части (2) с постоянными магнитами, которая играет роль направляющих, и обеспечивает поступательное перемещение подвижной части.

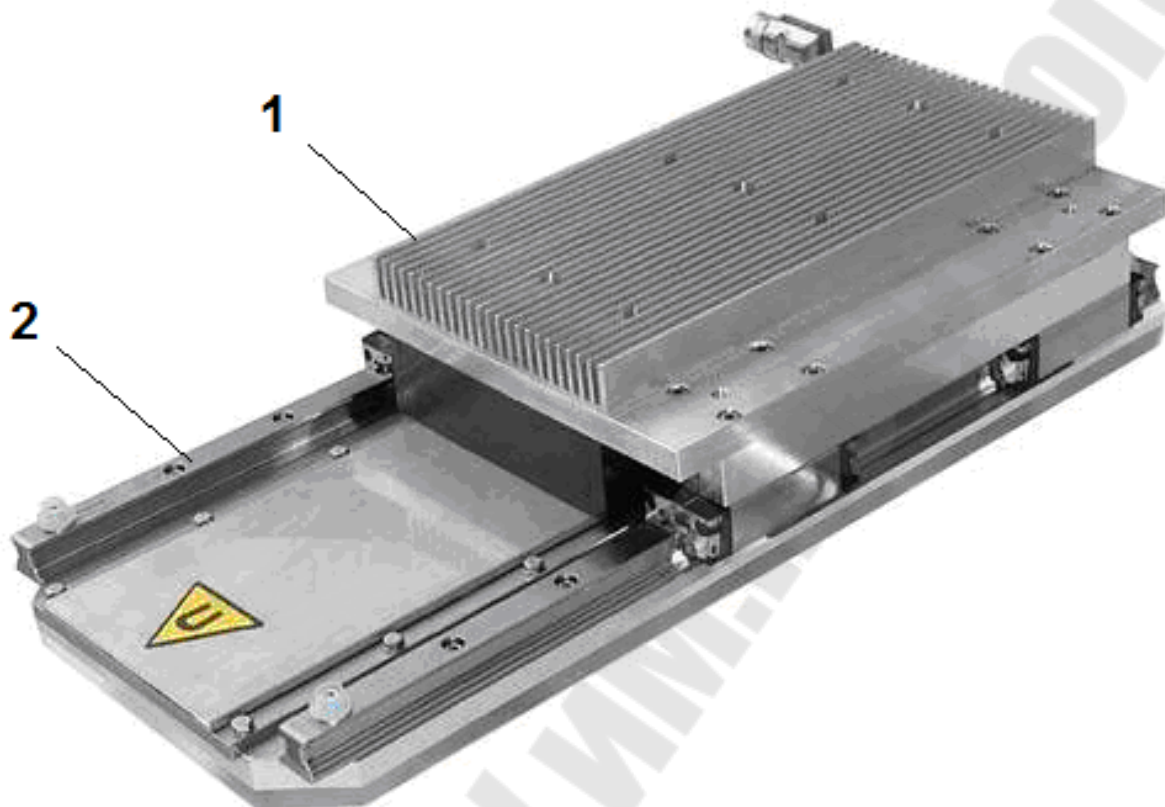


Рисунок 6.12 – Мехатронный модуль с линейным двигателем

Основные преимущества использования интеллектуальных мехатронных модулей:

способность ИММ выполнять сложные движения самостоятельно, без обращения к контроллеру верхнего уровня управления, что повышает автономность модулей, гибкость и живучесть мехатронных систем;

упрощение коммуникации между модулями и центральным устройством управления (вплоть до перехода к беспроводным коммуникациям);

повышение надежности и безопасности мехатронных систем благодаря компьютерной диагностике неисправностей и автоматической защите в аварийных ситуациях;

создание на основе ИММ распределенных систем автоматизации, для которых характерно делегирование функций управления «сверху» «вниз» (то есть переход от «монархии» к «демократии»), широкое использование сетевых технологий обмена информацией;

использование интеллектуальных сенсоров в ИММ приводит к повышению точности измерений благодаря первичной обработке

информации, фильтрации шумов и т.п.

Для реализации точных движений мехатронный модуль комплектуется датчиком положения (энкодером, рис. 6.13). Электропривод, оборудованный таким датчиком, называют сервоприводом. В состав систем управления движением, объединяющих несколько сервоприводов (И), входят контроллеры управления движением (сервоконтроллеры, рис. 6.14). К основным функциям сервоконтроллеров относятся координация движений отдельных сервоприводов (мехатронных модулей) и формирование для них заданий на перемещение с целью реализации сложных пространственных траекторий движения.



Рисунок 6.13 – Энкодеры



Рисунок 6.14 – Сервоконтроллеры

Ярким примером мехатронной системы есть роботы и манипуляторы (рис. 6.15). Они все чаще используются для сварочных и окрасочных работ, сборочных операций, изготовления электронных печатных плат, металлообработки, в космических исследованиях и даже в быту.



а)



б)



Рисунок 15 - Робокар (автоматическая тележка)

Некоторые разновидности роботов (в том числе показанные на рис. 10) чем-то похожи на человеческую руку как по конструкции, так и по назначению. Задачей других есть автоматическое перемещение грузов по цеху, поэтому они похожи на тележку (рис. 15).

Типичной мехатронной системой есть станок с числовым программным управлением (ЧПУ), используемый для механической обработки изделий из металла, дерева, пластмасс (рис. 6.16). Работу модулей движения (осей) координирует цифровая система ЧПУ, в которую предварительно загружена программа обработки.



а)

б)

Рисунок 6.16 - Станки с ЧПУ (а – токарный; б – фрезерный)

Сегодня мехатронные модули и системы находят широкое применение также в следующих областях:

автомобилестроение (например, антиблокировочные системы тормозов, системы стабилизации движения автомобиля и автоматической парковки, автопилоты);

3D-принтеры (рис. 6.17);

нетрадиционные транспортные средства (электровелосипеды, сегвеи, инвалидные коляски, дроны, рис. 6.18);

офисная техника (например, копировальные и факсимильные аппараты);

элементы вычислительной техники (принтеры, плоттеры, дисководы);

технологические линии и упаковочные машины пищевой и обрабатывающей промышленности;

полиграфические машины;

бытовая техника (стиральные, швейные, посудомоечные и другие машины);

фото- и видеотехника;

медицинское оборудование (реабилитационное, клиническое, сервисное);

тренажеры для подготовки пилотов и операторов и т.п.

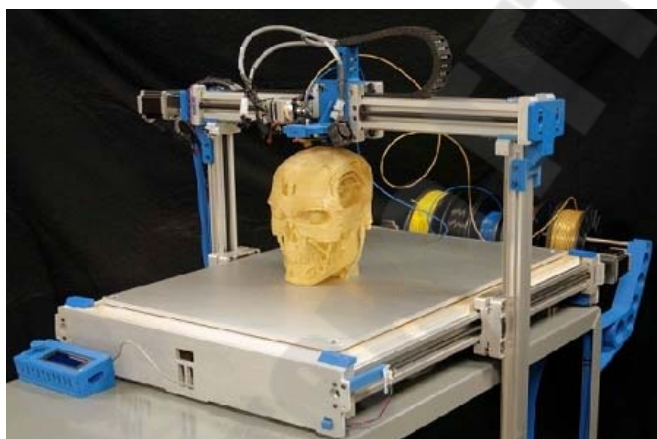


Рисунок 6.17 – 3D-принтер



Рисунок 6.18 – Дрон

Цифровые системы управления мехатронными системами в зависимости от степени сложности и традиций соответствующей отрасли могут быть реализованы в виде:

микроконтроллеров;

сервоконтроллеров;

программируемых логических контроллеров (ПЛК);

систем ЧПУ (для роботов и станков);

промышленных компьютеров и т.п.

Термины «мехатроника» и «электропривод» являются фактически синонимами. Мехатронные системы, как и системы электропривода, относятся к электромеханическим системам. Однако к отличиям мехатронных систем следует отнести:

относительно малую мощность (поскольку объединение в одном конструктивном модуле механических, электрических и электронных подсистем при большой их мощности реализовать невозможно);

исключительно цифровую природу систем управления (в электроприводе возможен и аналоговый принцип построения);

преимущественно большую точность и быстродействие.

Система температурного контроля на основе NI CompactRIO

Новые технологические решения в сфере автоматизации значительно упрощают и ускоряют разработку промышленных систем управления. На примере создания системы температурного контроля, демонстрируются основные преимущества системы реконфигурируемого управления и сбора данных CompactRIO и среды разработки LabVIEW.

Тема промышленных приложений волнует многих. В условиях жесткой конкуренции и динамичного рынка, даже самые консервативные предприятия не могут позволить себе отказаться от столь мощного средства эволюции, как автоматизация. Эпоха агитации за автоматизацию давно прошла. И теперь остро встает вопрос: «Как?» В настоящее время предложено достаточное количество технологических концепций, однако их внедрение часто вызывает трудности. В особенности это касается низкоуровневой части полной системы автоматизации – АСУТП (автоматизированная система управления технологическими процессами).

АСУТП относятся к первичной группе задач управления промышленным предприятием. В сегодняшней интерпретации, нижнюю ступень в иерархии управления производством занимает контроллерное оборудование, которое затем объединяется с системами типа SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) или DCS (Distributed Control Systems). Эти системы принадлежат классу HMI (Human-Machine Interface – человеко-машинный интерфейс), то есть обеспечивают двустороннюю связь «оператор – оборудование», а также полную интеграцию с другими информационными системами предприятия.

Однако в реальной жизни дело обстоит не так просто. На подавляющем большинстве российских предприятий преобладают «лоскутные» распределенные АСУТП, состоящие из несвязанных между собой подсистем, которые создавались в разное время разными людьми с использованием оборудования различных производителей. Всеобщая, полная и комплексная переделка системы автоматизации обычно долго реализуется и требует слишком больших затрат. Поэтому, при создании и особенно при

модификации АСУТП, целесообразно использовать универсальные гибкие программные средства и реконфигурируемые аппаратные решения, обладающие широкими коммуникационными возможностями.

Учитывая вышесказанное наряду с общими структурными соображениями, можно сформулировать технические требования к современным подсистемам АСУТП:

- выбор оптимального, с точки зрения эффективности и надежности, удовлетворяющего международным стандартам контроллерного оборудования;
- выбор оптимального, с точки зрения компактности и защищенности от внешних факторов, конструктива, удовлетворяющего международным стандартам.
- обеспечение широкого температурного диапазона работы технических средств локальных систем автоматического управления;
- защита контрольно-измерительных и информационных каналов от внешних воздействий, а также усиление передаваемых сигналов;
- поддержка стандартных каналов обмена технологической информацией между отдельными автоматизированными объектами и централизованной системой управления и контроля;
- возможность обмена данными по информационным каналам в реальном времени;
- обеспечение высокоэффективного человеко-машинного интерфейса в системе визуализации и мониторинга;
- эффективное, с точки зрения временных затрат, реконфигурирование, настройка, а также поиск и устранение неисправностей.

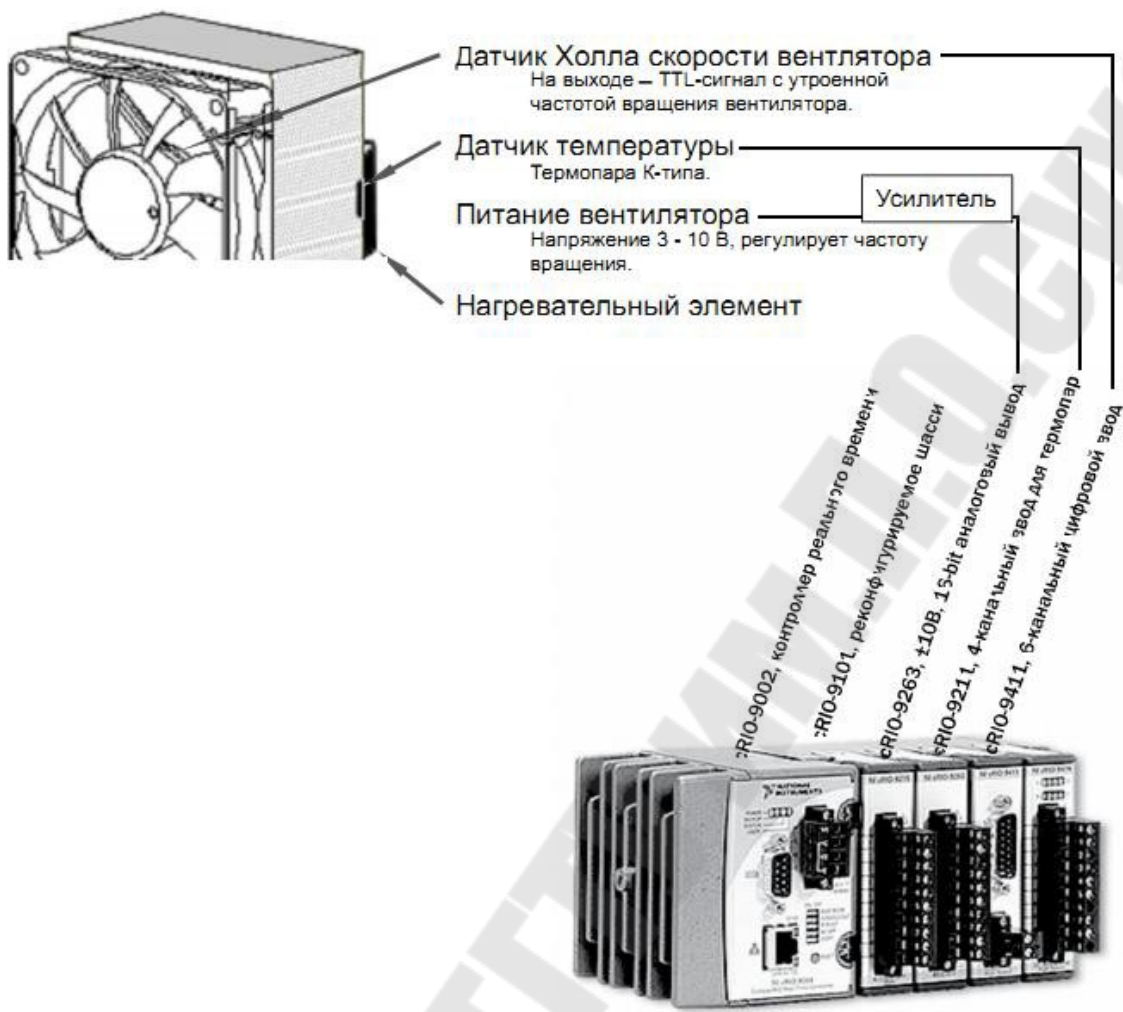


Рисунок 7.1 – Схема установки

В лаборатории-практикуме «Современные системы автоматизации научных исследований» разработана демонстрационная подсистема температурного контроля, удовлетворяющая всем перечисленным требованиям.

Технологическая задача подсистемы – поддерживать заданную оператором температуру среды путем изменения параметров системы охлаждения.

Схема установки представлена на рисунке 7.1. На основе показаний датчика температуры и датчика скорости вращения вентилятора, подсистема должна подать необходимое (для поддержания заданной температуры) напряжение питания на вентилятор.

Оборудование

В качестве контролирующего и управляющего устройства использовалась реконфигурируемая контрольно-измерительная система National Instruments CompactRIO. Основная масса требований предъявлена именно к ней.

CompactRIO представляет собой надежную и компактную промышленную систему управления и сбора данных, включающую в себя:

- контроллер реального времени на базе промышленного процессора, поддерживающего операции с плавающей точкой. В контроллере используется промышленный процессор класса Pentium с частотой 200 МГц, на котором выполняются приложения LabVIEW Real-Time Module с детерминированным временем исполнения операций. Огромная библиотека функций, поставляемая с LabVIEW, доступна для эффективной разработки собственных многопоточных контрольно-измерительных систем, работающих в режиме жесткого реального времени;
- реконфигурируемое шасси с встроенной ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема) на один миллион логических вентилей. Цепи ПЛИС представляют собой реконфигурируемую вычислительную машину, осуществляющую параллельную обработку данных и исполняющую приложения, созданные с помощью LabVIEW FPGA module, на аппаратном уровне микросхемы. На базе ПЛИС можно разрабатывать свои собственные схемы управления и сбора данных с тактированием и синхронизацией процессов с точностью до 25 нс. ПЛИС соединена со всеми модулями ввода/вывода, установленными в шасси, по топологии звезда, что обеспечивает возможность прямого доступа к каждому из них, и позволяет осуществлять их гибкую и точную синхронизацию;
- большой набор модулей ввода/вывода различного типа, начиная от термопарных модулей с диапазоном измерения сигналов ± 80 мВ и заканчивая 250 ВАС/VDC универсальными модулями цифрового ввода;

Система CompactRIO разработана для использования в жестких условиях и в ограниченном пространстве. Она может использоваться в диапазоне температур от -40 до +70 °С, в потенциально опасном и взрывоопасном окружении (Class I, Div 2) и выдерживают ударные нагрузки до 50 g.

Контроллер реального времени обладает набором стандартных средств коммуникации с другими информационными системами. В обычном режиме взаимодействие контроллера и ПК происходит по Ethernet-соединению (10/100 Мбит/сек). При этом на ПК выполняется клиентская часть приложения LabVIEWReal-Time. Поддержка шины RS-232 (с технологией VISA), TCP/IP, UDP по Ethernet и основных сетевых служб (таких как SMTP-mail, DataSocket...) предоставляет гораздо более широкие возможности интеграции с внешними системами.

Контроллер обладает встроенными WEB и FTP серверами. WEB-сервер позволяют публиковать в сети лицевые панели приложений, исполняемых на контроллере, тем самым реализуя человеко-машинный интерфейс, предоставляющий удаленным пользователям возможность осуществлять мониторинг и управление приложением.

В качестве мобильного варианта человеко-машинного интерфейса и дополнительного универсального средства коммуникации использовался КПК (карманный персональный компьютер) HPiPAQhx2410, подключаемый по шине RS-232 (COM-порт) к контроллеру CompactRIO.

Преимущества этого решения:

- Компактная переносная система визуального отображения информации, подключаемая к CompactRIO по необходимости;
- Интеграция с беспроводными сетями Wi-Fi и Bluetooth с использованием встроенных возможностей КПК;
- Доступность и универсальность оборудования (серийные КПК);
- Высокая эффективность (с точки зрения временных затрат) и относительная простота разработки приложений для КПК с использованием LabVIEWPDAmodule.

Содержание

Определения и терминология мехатроники.....	3
Принципы построения мехатронных систем	7
Современные тенденции развития мехатронных систем.....	11
Уровни интеграции мехатронных систем	13
Мехатронные системы в мобильных машинах.....	15
Позиционные и следящие электропневматические приводы	18
Система температурного контроля на основе NI CompactRIO.....	34
Оборудование	37

**Мельников Дмитрий Витальевич
Быстренков Владимир Михайлович**

ОСНОВЫ МЕХАТРОНИКИ

Пособие

**для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 09.07.18.

Рег. № 75Е.
<http://www.gstu.by>