

# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

# Основы конструирования мехатронных систем

- Основой методов конструирования мехатронных устройств является интеграция составляющих частей, которая определяется на этапе проектирования и реализуется при производстве и эксплуатации мехатронных модулей и систем. Интеграция в пределах мехатронного устройства выполняется посредством объединения компонентов и через интеграцию обработки информации.



Рисунок 4.1 – Интеграция составных частей мехатронного устройства

- В целом проектирование мехатронных систем является сложной многофакторной проблемой выбора и оптимизации принимаемых технических и технологических, организационно-экономических и информационных решений. Одна из важных проектной задачей является интеграция элементов в мехатронных модулях и машинах.

- Методологической основой для разработки мехатронных систем служат методы параллельного проектирования. При традиционном проектировании разработка механической, электронной, информационной и компьютерной частей ведется последовательно и независимо друг от друга (рис. 4.3).

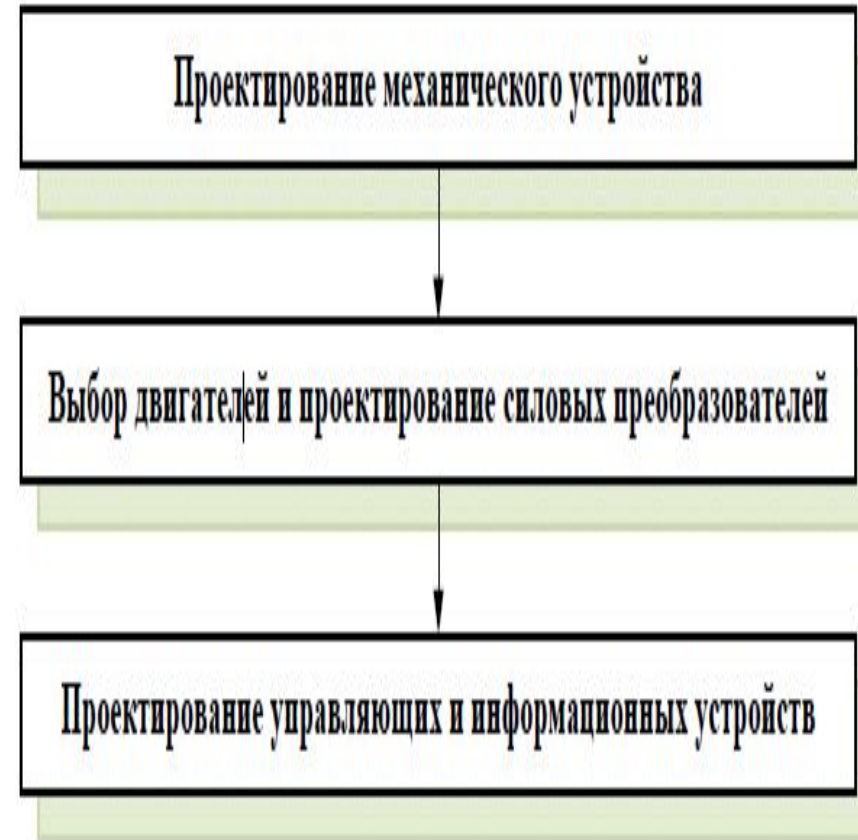


Рисунок 4.3 – Традиционный алгоритм проектирования

- Задачами системной интеграции занимается разработчик системы управления. Его возможности ограничены, так как основные конструкторские решения принимаются на предыдущих этапах.
- Выбранные двигатели и механические устройства относятся к неизменяемой части, состав и характеристики которой не корректируются при разработке электронной и управляющей частей.

Методология параллельного проектирования  
закljučается в  
одновременном и взаимосвязанном синтезе всех  
устройств мехатронной системы (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Алгоритм параллельного проектирования  
мехатронных систем

- Одна из известных процедур **проектирования интегрированных мехатронных машин** представлена на рис. 4.5.
- Эта процедура предусматривает четыре взаимосвязанных этапа:
  - определение функций мехатронных модулей на основе анализа исходных требований к мехатронной машине;
  - функционально-структурный анализ с целью выбора и формирования структуры всех мехатронных модулей системы;
  - структурно-конструктивный анализ, конструирование и формирование модели модулей системы;
  - планирование и оптимизация функциональных движений, разработка программ движения машины и





Рисунок 4.5 – Процедура проектирования интегрированных мехатронных машин

- Построение функциональной, структурной и конструктивной моделей позволяет применять в мехатронике методы и средства автоматизированного анализа, проектирования и конструирования.
- На заключительном этапе данной процедуры выполняется планирование и оптимизация функциональных движений мехатронной машины. Результатом этого этапа является создание программ управления этими движениями.

- Все проектные этапы имеют циклический характер, что отмечено круговыми стрелками на рис. 4.5. Например, на втором этапе прямая задача состоит в определении структуры модулей по заданной функциональной модели. Но возможна и обратная задача, когда структурные модификации приводят к изменению функциональных возможностей системы

- При проектировании интегрированных мехатронных модулей могут использоваться три метода интеграции. Методы интеграции можно классифицировать по характеру объединения составляющих устройств и способу решения "проблемы интерфейсов" мехатронных систем. Каждый из методов может применяться как самостоятельно, так и в комбинации с другими методами, поскольку они реализуются на различных этапах проектирования.

# Метод исключения промежуточных

## преобразователей и интерфейсов

- Структурные решения для мехатронных систем выявляются с помощью методики функционально-структурного анализа проектных решений.
- Известны два основных подхода к построению моделей сложных технических систем. **Первый** заключается в функциональном определении рассматриваемой системы через ее поведение по отношению к внешним объектам и внешней среде. **Второй** подход основан на структурном представлении системы и связей между ее элементами. Исследование и оптимизация взаимосвязей между функцией и структурой системы лежит в основе функционально-структурного подхода, который применяют к задачам мехатроники.



Рисунок 4.6 – Функциональное представление мехатронной системы

- Для методически корректного проектирования необходимо рассмотреть функциональную организацию мехатронной системы. Функциональное представление с определенными входными и выходными переменными (модель типа "черный ящик") представлено на рис. 4.6. Главная функциональная задача мехатронной системы заключается в преобразовании информации о программе движения в управляемое движение ее конечного звена.

- Выделенная основная функция не обязательно является единственной для мехатронных систем. Некоторые дополнительные функции, такие как: реконфигурация системы, обмен сигналами и информацией с другим технологическим оборудованием, самодиагностика, также должны быть реализованы для ее эффективной и надежной работы. Но именно выполнение заданного функционального движения является главной функцией, которая определяет поведение мехатронной системы во внешней среде.

- Функциональное представление мехатронного модуля в форме "черного ящика" (см. рис. 4.6) содержит два информационных входа (программа движения и информационная обратная связь), дополнительный механический вход (силы реакции внешней среды) и один выход - целенаправленное механическое движение. Следовательно, в общем случае функциональная схема мехатронного модуля может быть построена как информационно-механический преобразователь



- Физическая реализация мехатронного информационно-механического преобразования осуществляется путем использования электрических источников энергии. Соответственно функциональная модель для современных мехатронных систем представлена на рис. 4.7.
- Полученная функциональная модель в общем случае содержит семь базовых преобразователей, связанных энергетическими и информационными потоками.

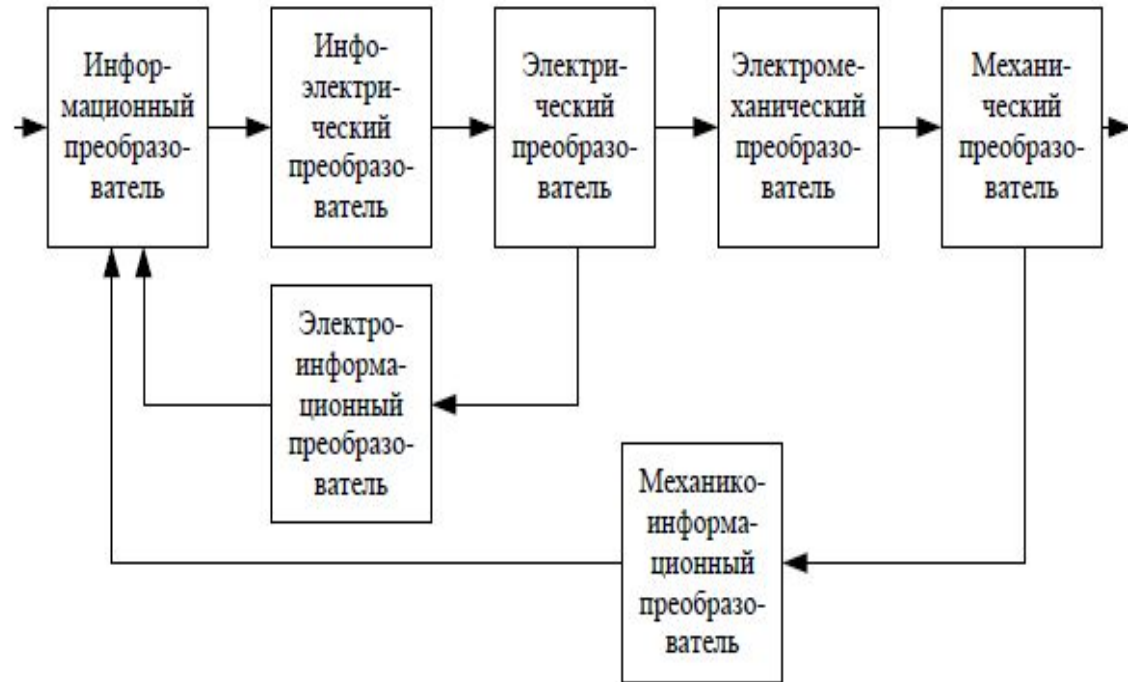


Рисунок 4.7 – Функциональная модель мехатронного модуля

- Электрическая энергия является только промежуточной энергетической формой между входной информацией и выходным механическим движением.
- Выбор физической природы промежуточного преобразователя определяется возможностями технической реализации, исходными требованиями и особенностями применения. В мехатронных модулях широко применяют:
  - гидравлические преобразователи, которые наиболее эффективны в машинах, испытывающих высокие нагрузки;
  - пневматические преобразователи, которые характеризуются простотой, надежностью и обладают высоким быстродействием;
  - химические преобразователи применяются в биоприводах, аналогичных по принципу действия мускулам живых организмов;
  - тепловые энергетические процессы используются в микромехатронных системах с использованием материалов с памятью формы;
  - комбинированные преобразователи, основанные на энергетических процессах различной физической природы.

- Структурная модель мехатронного модуля отражает состав его элементов и связи между ними. Структурные модели можно графически представить в виде блок-схем. В качестве исходной структуры мехатронного модуля представлен традиционный электропривод с компьютерным управлением (рис. 4.8).

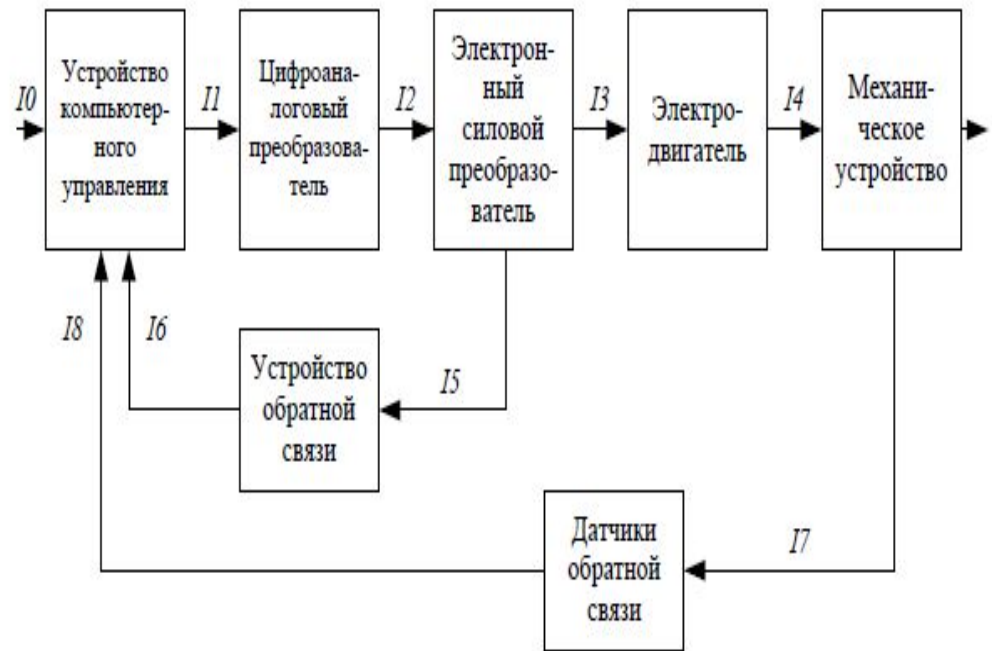


Рисунок 4.8 – Структура традиционного электропривода с компьютерным управлением

- В представленной структурной схеме выделяют управляющую и электромеханическую подсистемы. Структурная модель электропривода (см. рис. 4.8) включает в себя следующие элементы:
  - устройство компьютерного управления движением (информационное преобразование: обработка цифровых сигналов, цифровое регулирование, расчет управляющих воздействий, обмен данными с периферийными устройствами);
  - цифроаналоговый преобразователь (функция информационно-электрического преобразования);
  - силовой преобразователь, как правило, состоящий из усилителя мощности, широтно-импульсного модулятора и трехфазного инвертора (для асинхронных двигателей);
  - управляемый электродвигатель (электро-механическое преобразование);
  - механическое устройство (реализует заданное управляемое движение, и рабочий орган, взаимодействующий с внешними объектами);

- • устройство обратной связи (дает информацию о значениях электрических напряжений и токов в силовом преобразователе);
- • датчики обратной связи (по положению и скорости движения звеньев), выполняющие функцию механико-информационного преобразования;
- • интерфейсные устройства I0-I8.

- Интеллектуальные интерфейсы расположены на входах и вы-ходах устройства компьютерного управления мехатронного модуля и предназначены для его сопряжения со следующими структурны-ми элементами:
  - компьютером верхнего уровня управления и другими моду-лями мехатронной системы (интерфейс I0);
  - цифроаналоговым преобразователем (интерфейс I1) и далее с силовым преобразователем модуля (I2);
  - датчиками обратной связи (интерфейс I8), который в случае применения сенсоров с аналоговым выходным сигналом строится на основе аналого-цифрового преобразователя;
  - устройствами обратной связи для контроля уровня электри-ческих токов и напряжений в силовом преобразователе (интерфейс I6).

- Построение мехатронных модулей с так называемым "бессенсорным" управлением означает исключение датчиков обратной связи вместе с соответствующими интерфейсами I7 и I8, которые традиционно выполняют функциональное механико-информационное преобразование. При этом информация о скорости и положении ротора двигателя определяется в устройстве компьютерного управления косвенными методами.
- Данный способ позволяет существенно снизить стоимость изделия и повысить надежность его работы, радикально облегчить механическую конструкцию модуля, возложив задачу организации обратной связи на электронные и компьютерные устройства. Фактически в данном случае метод исключения промежуточных преобразователей сочетается с методом интеграции, который направлен на расширение функций интеллектуальных устройств в мехатронике.

# Метод объединения элементов мехатронного модуля

- Рассматриваемый метод интеграции заключается в аппаратно-конструктивном объединении выбранных элементов и интерфейсов в едином корпусе. Технологической базой для данного метода интеграции является гибридная сборка узлов и элементов. Аппаратное и конструктивное объединение элементов в единые модули должно сопровождаться разработкой интегрированного программного обеспечения.
- Методическим подходом поиска вариантов является рассмотрение интерфейсных блоков IO-18 (см. рис. 4.8) в качестве локальных точек, где потенциально возможна интеграция элементов. Для получения высокоинтегрированных модулей при проектировании можно базироваться на несколько интерфейсных точек одновременно.



# Группы мехатронных модулей, построение которых основано на методе интеграции, приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Мехатронные модули, построенные методом объединения элементов в едином корпусе

| Многофункциональные мехатронные модули | Функциональные преобразования  | Встраиваемые элементы   |                |
|--|--|---|----------------|
|  |  | структурные блоки   | интерфейсы     |
| Модули движения                        | Электромеханическое и механическое   | Двигатель, механическое устройство  | <i>I4</i>      |
| Мехатронные модули движения            | Электромеханическое, механическое и механико-информационное  | Двигатель, механическое устройство, датчик обратной связи   | <i>I4, I7</i>  |
| Интеллектуальные мехатронные модули    | Информационное, информационно-электрическое, электрическое, электромеханическое, механическое, электроинформационное и механико-информационное | УКУ, силовой преобразователь, двигатель, механическое устройство, датчики и устройства обратной связи | <i>I0...I8</i> |

- Мехатронные модули движения являются многофункциональными изделиями, которые выполняют электромеханическое, механическое и механико-информационное преобразования (табл. 4.4). В едином корпусе модуля находятся: двигатель, механическое устройство и датчик обратной связи. Точками структурно-конструктивной интеграции этих элементов являются интерфейсы I4 и I7.

- Главной особенностью современного этапа развития мехатроники является создание принципиально нового поколения модулей - интеллектуальных мехатронных модулей. По сравнению с мехатронными модулями движения в их конструкцию дополнительно встраиваются компьютерные устройства и силовые электронные преобразователи, что придает этим модулям интеллектуальные свойства и является их главным отличительным признаком.

- В общем случае интеллектуальный мехатронный модуль состоит из следующих основных элементов: • электро- (или, например, гидро-) двигатель; • механическое устройство; • датчики и устройства обратной связи; • устройство компьютерного управления; • электронный силовой преобразователь; • интерфейс I/O для связи с компьютером верхнего уровня управления, а также внутренние интерфейсы (I1 - I8).

- **Основными преимуществами применения интеллектуальных мехатронных модулей являются:**
- • способность выполнять сложные движения самостоятельно, без обращения к верхнему уровню управления, что повышает автономность модулей, гибкость и живучесть мехатронных систем;
- • упрощение коммуникаций между модулями и центральным устройством управления (например, с использованием беспроводных коммуникаций), что позволяет добиваться повышенной помехозащищенности мехатронной системы и ее способности к быстрой реконфигурации;
- • повышение надежности и безопасности мехатронных систем благодаря компьютерной диагностике неисправностей и автоматической защите в аварийных и штатных режимах работы;
- • создание распределенных систем управления с применением компьютерных и сетевых технологий;

- • использование современных методов управления (программных, адаптивных, интеллектуальных, оптимальных) непосредственно на исполнительном уровне для повышения качества процессов управления в конкретных реализациях;
- • интеллектуализация силовых преобразователей для защиты модуля в аварийных режимах и диагностики неисправностей;
- • интеллектуализация сенсоров для мехатронных модулей позволяет добиться более высокой точности измерения, программным путем обеспечив в самом сенсорном модуле фильтрацию шумов, калибровку, линеаризацию характеристик

- Встраивание интеллектуальных устройств непосредственно в мехатронный модуль порождает и ряд ограничений. К ним следует отнести сложность модернизации, увеличение массогабаритных показателей модуля движения по сравнению с приводами, где управляющие и электронные устройства расположены отдельно.

# Метод переноса функциональной нагрузки на интеллектуальные устройства

- На этапе проектирования осуществляется распределение функций между структурными элементами мехатронной системы. Современная тенденция при построении машин заключается в переносе функциональной нагрузки от механических узлов к интеллектуальным (электронным, компьютерным и информационным) компонентам, относительно дешевым и легко перепрограммируемым под новую задачу. Использование данного метода интеграции позволяет минимизировать механическую сложность мехатронной системы.



- Мехатронный подход предполагает не дополнение, а замещение функций, традиционно выполняемых механическими элементами системы, электронными и компьютерными блоками. Если одна и та же функция может быть реализована устройствами различной физической природы, то при разработке системы необходимо учитывать технологические и организационно-экономические критерии.

- Метод электронной редукции, является примером, когда управляемый исполнительный механизм отслеживает движение задающего устройства (рис. 4.11). Этот метод является аналогом способа копирующего управления, широко используемого для дистанционно управляемых роботов и манипуляторов.

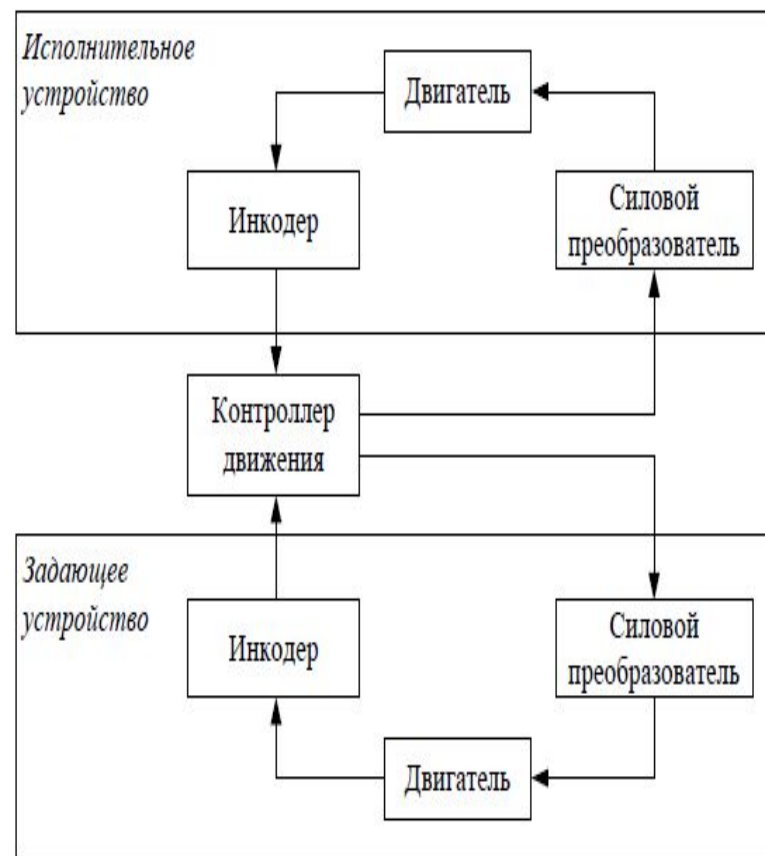


Рисунок 4.11 – Система управления движением на основе метода электронной редукции