

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ И МЕХАТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Мехатронные системы, в которых применяется *интеллектуальное* и/или *адаптивное* управление движением механических объектов, – это разнообразные технологические машины и производственные комплексы, в том числе станки и роботы, современная медицинская техника, подводные, воздушные, космические аппараты, бытовое и офисное оборудование (компьютеры, фотоаппараты, пылесосы, стиральные машины) и многое другое.

В **состав** системы управления входят, по крайней мере, три компонента:

- *объект управления*,
- *устройство управления* и
- *комплекс датчиков*, дающих информацию о состоянии объекта управления и взаимодействующих с ним компонентов окружающей среды.

Объектом управления, называемым также *управляемым объектом*, может быть собственно механический объект, который требуется заставить совершать желаемые движения, подавая на него управляющее воздействие. Например, в качестве такого объекта может выступать рабочий орган манипулятора в виде схвата или технологического инструмента (фрезы, сверла, металлической щётки и т.п.).

Движение объекта управления задаётся с помощью *управляющего воздействия*, которое формируется устройством управления. Но управляющее воздействие, как правило, имеет малую мощность и не способно привести в движение механический объект управления без использования преобразователей энергии и усилителей мощности.

Поэтому чаще всего под объектом управления понимается *совокупность* механического объекта и исполнительного устройства.

Исполнительное устройство включает в себя **силовую часть** привода, в которую входят

- исполнительный двигатель,
- преобразователь движения и
- усилитель мощности, подключённый к источнику энергии (рис.1).

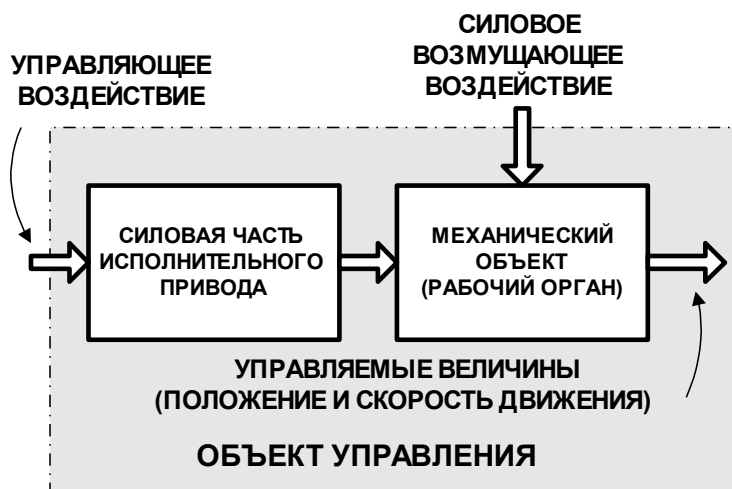


Рис. 1. Структурная схема объекта управления

Такой расширенный состав объекта управления необходим для того, чтобы можно было, используя энергию источника питания, сформировать необходимые силы, действующие на механический объект, в функции от входного маломощного управляющего воздействия, создаваемого устройством управления.

В более общем случае под объектом управления понимается совокупность рабочего органа технологической машины и дополнительных механических исполнительных элементов технологической системы (рис.2).

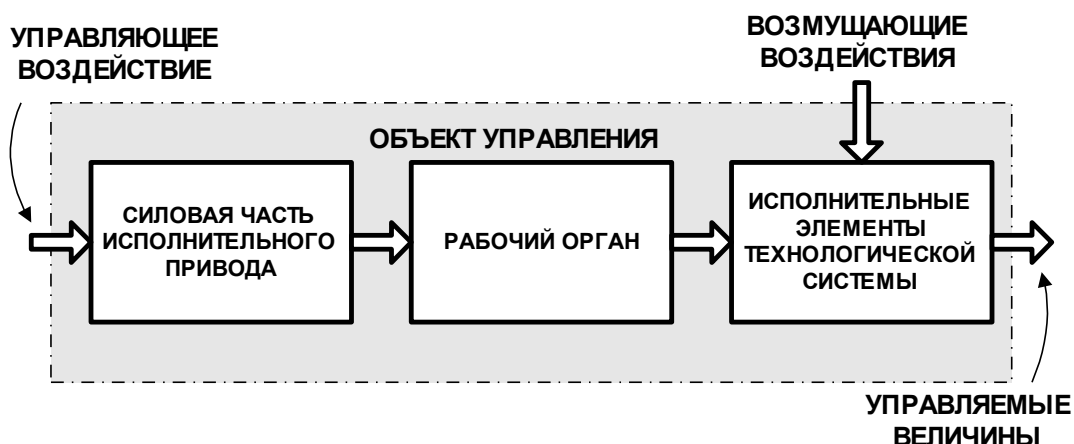


Рис. 2. Структурная схема объекта управления, состоящего из рабочего органа и элементов технологической системы

Управление представляет собой совокупность действий, направленных на обеспечение такого процесса функционирования управляемого объекта, при котором достигается **цель управления** при наличии заданных ограничений и воздействий со стороны окружающей среды.

Цель управления связывается с желаемым изменением во времени управляемой выходной величины объекта или группы переменных, характеризующих текущее состояние этого объекта.

Например, при управлении углом поворота вала электродвигателя цель управления может пониматься как получение в каждый момент времени минимальной разности (**рассогласования**) между требуемым и фактическим углом поворота этого вала. В теории управления такое рассогласование называют **ошибкой** системы управления. В идеальном случае эта ошибка должна быть равна нулю.

Для достижения цели управления со стороны устройства управления к объекту управления прикладывается **управляющее воздействие**. Оно формируется устройством управления с учётом статических и динамических свойств объекта управления таким образом, чтобы достаточно быстро и качественно свести к нулю рассогласование и при этом устранить негативное мешающее влияние внешних возмущающих воздействий.

Устройство управления функционирует на основании поступающего извне **задающего воздействия** и чаще всего учитывает текущее состояние объекта управления. Информацию о состоянии объекта управления даёт **комплекс датчиков сигналов обратных связей**.

Совокупность взаимодействующих друг с другом устройства управления, объекта управления и комплекса датчиков сигналов обратных связей представляет собой **систему автоматического управления (САУ)**.

Варианты построения систем управления и этапы их развития

1. Управление без использования обратных связей. Реализуется принцип управления по разомкнутой схеме. Это наиболее простой вариант управления. Устройство управления оказывает управляющее воздействие на объект управления и не контролирует реакцию объекта (рис. 3).

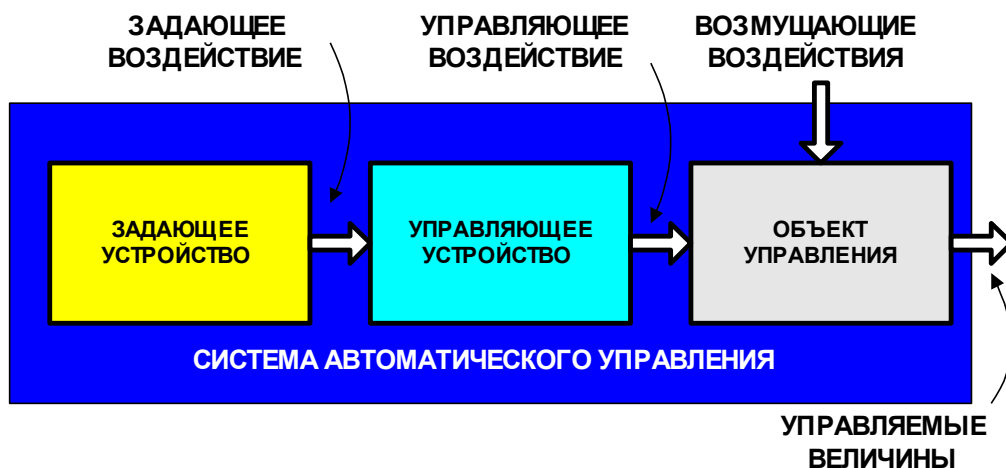


Рис. 3. Структура системы управления по разомкнутой схеме.

Преимущество такого варианта построения системы управления состоит в высоком быстродействии и, как правило, в отсутствии проблем с обеспечением устойчивости. Но недостаток такой системы заключается в том, что **управляющее устройство не учитывает возмущающие воздействия.**

Если параметры объекта управления известны заранее и не меняются, а внешнее возмущающее воздействие отсутствует, то система работает качественно. Но при изменении значений параметров объекта и при наличии возмущающих воздействий точность системы и качество процессов управления резко снижаются.

2. Управление с использованием компенсирующих связей по возмущающим воздействиям реализует *принцип компенсации*.

Система разомкнута. Но благодаря введению компенсирующих связей повышается точность системы.

При компенсации влияния возмущающего воздействия в состав системы вводятся последовательно включённые *датчик возмущающего воздействия* и *корректирующее устройство*, вырабатывающее на своём выходе сигнал, добавляемый к задающему воздействию (рис. 4).

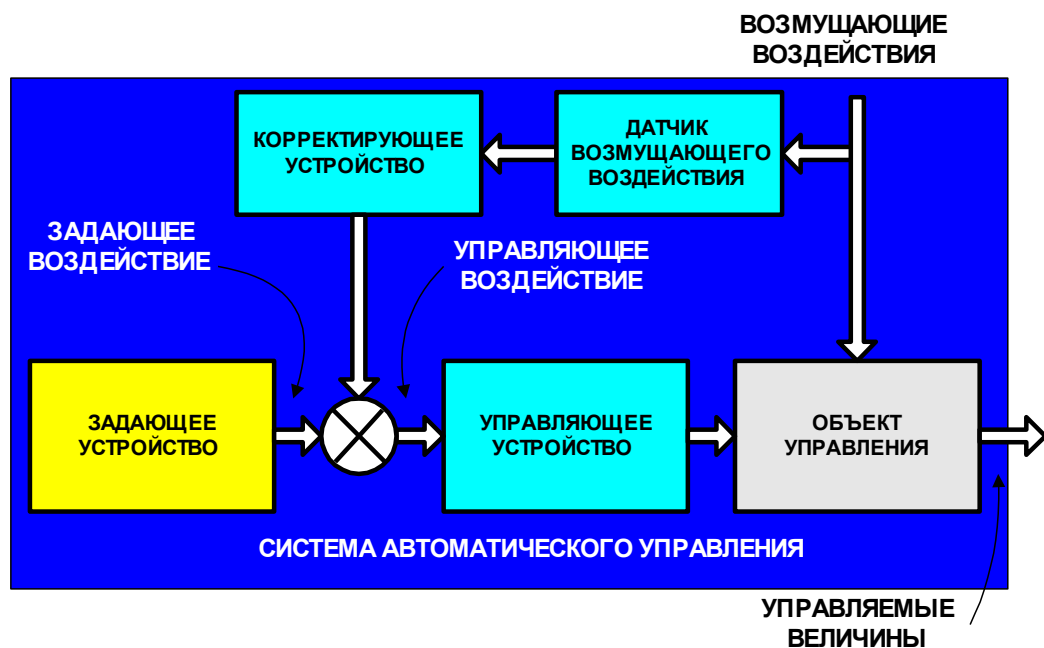


Рис. 4. Структурная схема системы управления, построенная в соответствии с принципом компентации

Образующееся в результате этого результирующее управляющее воздействие содержит составляющую, способную **скомпенсировать влияние возмущения** на управляемую переменную.

Это достигается в том случае, если *известны и неизменны свойства объекта управления и могут быть измерены внешние воздействия*.

3. Управление, построенное с использованием обратных связей.

Реализуется *принцип управления по отклонению* (принцип обратной связи).

Принцип обратной связи означает, что **управляющее воздействие формируется в функции от рассогласования** (разности между задающим воздействием и измеренной управляемой величиной) (рис. 5).

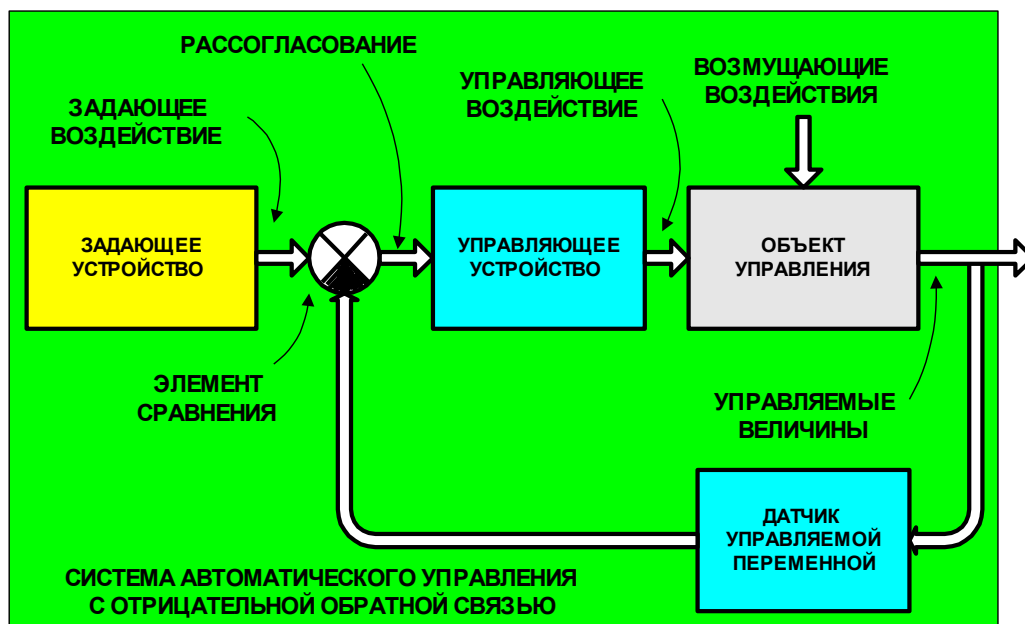


Рис. 5. Структурная схема системы управления, построенная с использованием обратной связи

Управляющее устройство называют **регулятором**, реализующим выбранный **закон управления (закон регулирования)**. Наиболее распространёнными регуляторами являются пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регуляторы.

Регулятор системы автоматически вырабатывает управляющее воздействие, приводящее к **уменьшению рассогласования без измерения возмущающих воздействий**.

Пример – следящая система на основе коллекторного двигателя постоянного тока в виде *системы контуров подчинённого регулирования* (рис.6).

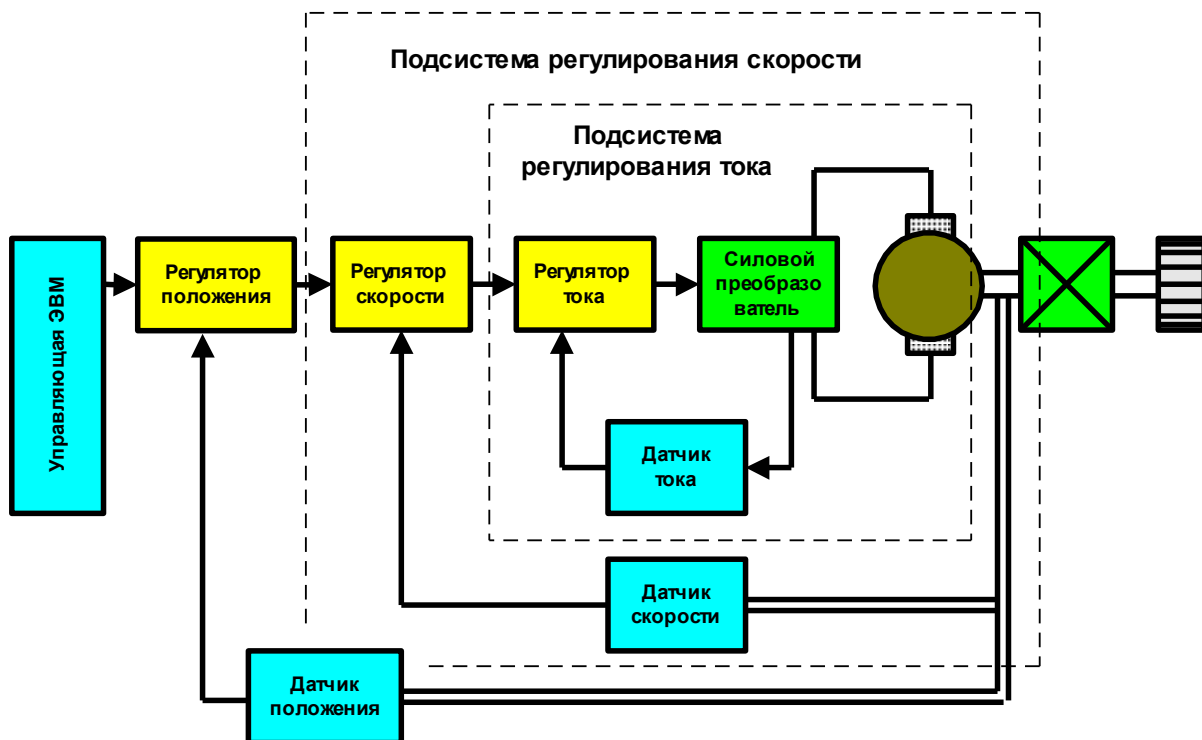


Рис. 6. Структура следящего привода с обратными связями по положению, скорости и току

Динамические свойства системы улучшаются благодаря постоянному контролю состояния объекта и формированию управляющего воздействия в функции от текущего значения рассогласования (ошибки системы). Структура системы такова, что движение объекта управления всегда направляется в сторону устранения рассогласования.

Преимущество систем управления, построенных с использованием обратных связей, состоит в том, что они обладают высокой точностью и пониженным влиянием изменений параметров объекта и возмущающих воздействия на качество процессов управления.

4. Комбинированное управление – это такое управление, при котором одновременно реализуются принцип управления по рассогласованию и принцип компенсации при управлении по разомкнутому циклу. Таким образом, в системе присутствуют и *обратные связи*, и *прямые связи* компенсационного характера (рис.7).

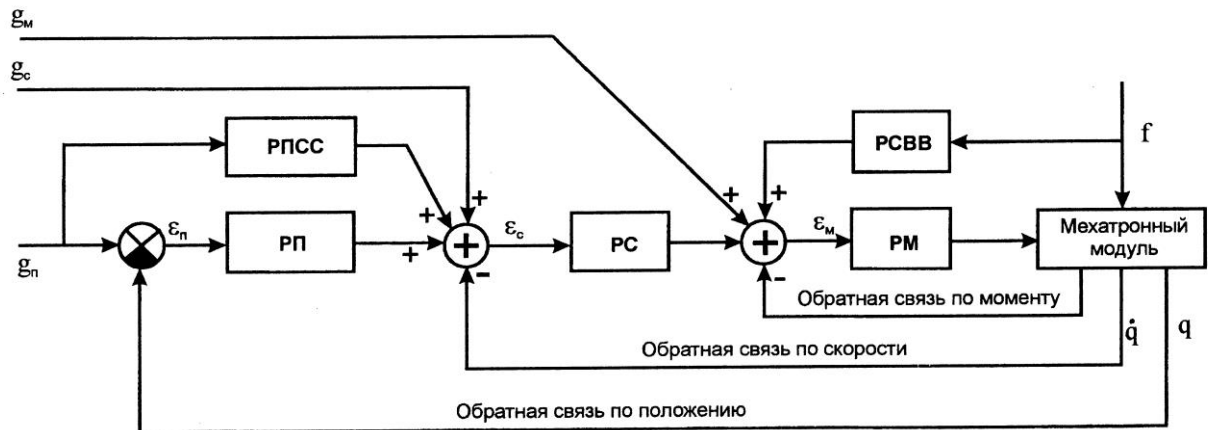


Рис. 7. Структурная схема привода с обратными и прямыми связями

Например, для повышения точности отработки задающего воздействия к этому воздействию добавляют составляющую, являющуюся суммой сигналов, пропорциональных производным от задающего воздействия по времени.

В настоящее время для улучшения динамических свойств систем управления в робототехнике и мехатронике применяется ряд новых подходов и методов управления. Среди них

- адаптивное управление,
- робастное управление,
- оптимальное управление,
- интеллектуальное управление.

5. Адаптивное управление. Особенность адаптивных систем состоит в том, что они способны *приспосабливаться* к изменениям свойств объекта управления или внешних воздействий, заранее неизвестным и происходящим в процессе функционирования системы управления.

Внутри управляющей части системы адаптивного управления присутствуют два элемента - *блок управления* и *блок адаптации*. Блок адаптации, получая сигналы о состоянии объекта управления, распознает события, требующие коррекции программ, исполняемых блоком управления, и производит изменение значений параметров устройства управления, формируемых им сигналов или закона управления. Это позволяет добиться улучшения качества работы системы управления при изменении свойств объекта управления или внешних воздействий.

Одна из часто встречающихся разновидностей адаптивных систем – это системы с эталонной моделью, свойства которой соответствуют желаемым свойствам системы управления (рис. 8). Свойства реальной системы управления могут сильно отличаться от желаемых свойств в результате неустойчивости параметров объекта управления и внешних воздействий.

Реакция эталонной модели на задающее воздействие сравнивается с реакцией на то же воздействие реальной системы управления. Рассогласование между этими реакциями служит основанием для выяснения того, какие параметры регулятора системы требуется скорректировать и каким образом. Такие операции осуществляются блоком настройки коэффициентов.

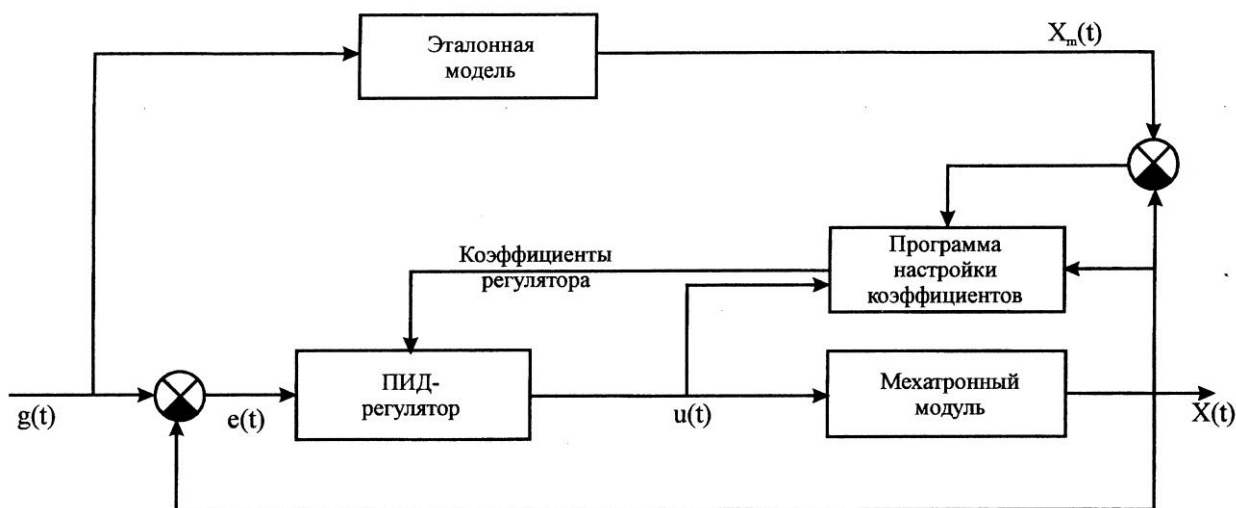


Рис. 8. Пример структурной схемы адаптивной системы с эталонной моделью

В результате подстройки значений параметров ПИД-регулятора динамические свойства системы управления улучшаются. Её реакция приближается к реакции эталонной модели.

6. Робастное управление. Основа таких систем та же, что и у систем, работающих по отклонению. Но они построены так, что *свойства системы управления остаются весьма стабильными* при изменении параметров объекта и внешних воздействий в широких диапазонах значений. Современные тенденции таковы, что наиболее ответственные системы стремятся строить как робастные (*грубые*) системы.

7. Оптимальное управление обеспечивает минимизацию или максимизацию показателя качества системы управления, например, минимизацию времени перехода системы из исходного состояния в конечное состояние (это системы, оптимальные по быстродействию), либо минимизацию затрат энергии при управлении, либо минимизацию ошибки (системы оптимальные по точности).

Принципиально важно, что оптимизация выполняется при задании *критерия оптимальности* и *с учётом заданных ограничений*. Наиболее часто применяемые идеи — принцип максимума Понтрягина и метод динамического программирования Белмана.

8. Интеллектуальное управление — это управление, основанное на применении различных технологий искусственного интеллекта, копирующих элементы интеллектуальных способностей человека, и осуществляющих накопление знаний и их использование для анализа ситуации и принятия адекватного решения о рациональных действиях для достижения цели управления.

Интеллект человека (от латинского слова *intellectus*, означающего понимание) — это качество психики, состоящее из

- способности **адаптироваться** к новым ситуациям,
- способности к **обучению** на основе опыта,
- **пониманию и применению абстрактных концепций** и
- использованию своих знаний для **целенаправленного воздействия** на окружающую среду.

Интеллект — это, прежде всего, целеполагание, предвидение результатов действий, планирование ресурсов и построение стратегии достижения цели.

Искусственный интеллект (Artificial Intelligence – AI) – это способность технической системы (робота, технологической машины) действовать таким образом, что она будет восприниматься человеком как разумная.

Системы управления, в которых применяются методы искусственного интеллекта, называют **интеллектуальными системами управления (ИСУ)** или системами управления с элементами искусственного интеллекта.

Наиболее важный тип интеллектуального управления – это **интеллектуальное управление в автоматическом режиме**, т.е. без участия человека. В этом случае принятие решения выполняется с использованием базы знаний.

База знаний может быть разработана человеком – экспертом или группой экспертов, либо сформирована автоматически на основании сведений о воздействиях на объект управления и его реакциях.

К методам искусственного интеллекта относятся

- **экспертные системы,**
- **искусственные нейронные сети,**
- **нечёткая логика,**
- **ассоциативная память,**
- **генетические и эволюционные алгоритмы.**

Высокая **эффективность** интеллектуальных систем управления (**ИСУ**) обеспечивается их способностью функционировать в условиях действия различных **неопределенных факторов**:

- неполноты информации о внешней среде,
- неточности результатов измерений переменных состояния объекта управления,
- возможности возникновения непредвиденных (критических) ситуаций в работе объекта управления.

Построение ИСУ при этом часто не требует знания точной математической модели управления, а базируется на опыте действия в аналогичных ситуациях высококвалифицированных специалистов - экспертов.

Важное замечание.

Интеллектуальное управление не является панацеей. Ему присущи определённые недостатки. Поэтому чаще всего интеллектуальное управление **не заменяет** традиционные методы управления, а **дополняет** их и используется совместно с традиционными методами. Это даёт возможность упростить создание и расширить возможности систем управления.

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Понятие об адаптивных системах

Слово *адаптация* происходит от латинского слова *adaptatio*, означающего приспособление. Оно означает процесс приспособления живого субъекта или технического объекта к изменяющимся условиям внешней среды с целью оптимизации процессов функционирования по некоторому заранее заданному критерию.

Вначале понятие адаптации использовалось применительно к биологическим организмам. Речь шла о приспособлении организма к внешним условиям в процессе эволюции, включая физиологическую и поведенческую составляющие. В частности, адаптация может обеспечивать повышение шансов на выживаемость при действии неблагоприятных факторов или успешность конкуренции с другими особями. Возможности адаптации ограничены и определяются особенностями организма.

В технике *адаптивная система* – это система, которая автоматически и целенаправленно изменяет значения параметров и структуру регуляторов с целью достижения оптимального состояния при действии на неё разнообразных *факторов*. Этими факторами могут быть внешние *воздействия* или обусловленные этими воздействиями *изменения параметров* объекта управления. К числу таких факторов относятся, например, переменные силовые воздействия на объект управления, изменения момента инерции подвижных частей и коэффициентов передачи различных звеньев системы управления. Адаптивная система приспособляется к этим факторам, стремясь уменьшить их негативное влияние на качество своего функционирования.

Свойство адаптивности системе управления придаёт *адаптивное управление*, которое обеспечивает изменение параметров и/или структуры регулятора в зависимости от изменения параметров объекта управления или внешних возмущений, действующих на объект управления.

Существует три общих свойства, которые вместе характеризуют процесс адаптации.

1. Процессы, происходящие в системе, непрерывно контролируются и подвергаются управлению с помощью дополнительно вводимых в систему элементов и устройств.

2. Качество функционирования системы оценивается количественно с использованием показателей качества.

3. Если значение показателя качества отличается от желаемого значения, то с помощью дополнительно вводимых в систему устройств изменяются значения параметров устройства управления, и это приводит к восстановлению свойств системы на заданном оптимальном уровне.

Адаптивные системы всегда являются системами с обратными связями. Но не всякая система с обратной связью будет адаптивной.

Классификация адаптивных систем

Существует несколько вариантов классификации адаптивных систем.

Классификация адаптивных систем по характеру изменений в управляющем устройстве:

- самонастраивающиеся адаптивные системы,
- самоорганизующиеся адаптивные системы.

В самонастраивающихся адаптивных системах изменяются только значения параметров регулятора.

В самоорганизующихся адаптивных системах изменяется структура регулятора.

Если закон изменения характеристик объекта во времени неизвестен, а разовая или программная настройка не позволяет получить желаемое качество работы системы, то в неё вводят элементы самонастройки.

Самонастраивающиеся системы строятся на основе принципа управления по отклонению или с использованием комбинированного управления. Характерными свойствами таких систем являются:

- наличие двух контуров управления: **основного контура управления** и **контура самонастройки**;
- наличие элементов с изменяющимися параметрами;
- наличие вычислительных средств;
- повышенная чувствительность к изменению параметров системы и входных сигналов;
- использование случайных сигналов для осуществления автоматического поиска экстремума.

Классификация адаптивных систем по способу изучения свойств объекта для адаптивной корректировки параметров и структуры.

- поисковые адаптивные системы,
- беспоисковые адаптивные системы.

К поисковым адаптивным системам относятся экстремальные системы. Их особенность состоит в том, что они стремятся поддерживать экстремальное значение показателя качества функционирования. При этом система осуществляет поиск этого экстремального значения.

В зависимости от способа получения информации для подстройки параметров регулятора беспоисковые адаптивные системы делятся на

- адаптивные системы с эталонной моделью,
- адаптивные системы с идентификатором.

Адаптивные системы с идентификатором называют также адаптивными системами с настраиваемой моделью.

В состав адаптивной системы с эталонной моделью (ЭМ) входит динамическая модель системы, обладающая желаемыми свойствами. Управляющие воздействия, формируемые системой для изменения параметров или структуры регулятора, вырабатываются путём сравнения реакций объекта управления и эталонной модели. В результате этого поведение адаптивной системы становится похожим на поведение эталонной модели.

Способы управления в адаптивных системах с идентификатором делятся на

- прямой
- косвенный, который называется также непрямым.

При косвенном адаптивном управлении сначала делается оценка параметров объекта, после чего на основании полученных оценок определяются требуемые значения параметров регулятора и производится их подстройка.

При прямом адаптивном управлении благодаря учёту взаимосвязи параметров объекта и регулятора производится непосредственная оценка и подстройка параметров регулятора, чем исключается этап идентификации параметров объекта. По способу достижения эффекта самонастройки системы с моделью делятся на

- системы с сигнальной (пассивной) адаптацией
- системы с параметрической (активной) адаптацией.

В системах с сигнальной адаптацией эффект самонастройки достигается с помощью компенсирующих сигналов без изменения параметров управляющего устройства. Системы, сочетающие в себе оба вида адаптации, называют

- **комбинированными.**

Структура адаптивной системы такова, что в ней можно выделить основной контур управления и вспомогательный контур адаптации.

Основной контур управления строится на основании принципа управления по отклонению и содержит регулятор и совокупность последовательно соединённых элементов, которые можно считать результирующим объектом управления (рис. 1). В состав последнего входят механический объект управления, исполнительный двигатель, усилитель мощности (силовой преобразователь). К результирующему объекту управления можно отнести и датчик главной обратной связи.

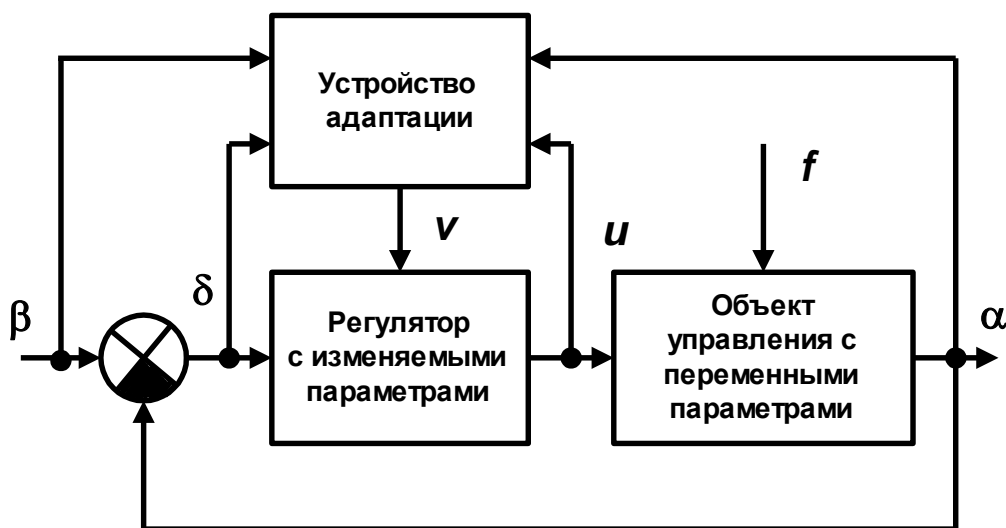


Рис. 1. Структурная схема системы адаптивного управления

Вспомогательным контуром называется контур, осуществляющий подстройку параметров регулятора таким образом, чтобы обеспечить заданное качество системы управления при изменяющихся параметрах объекта управления. Этот контур образуется из части компонентов основного контура и устройства адаптации. Вспомогательный контур осуществляет выделение, измерение и обработку информации о переменных параметрах объекта управления. Для этого он использует сигналы, циркулирующие в

системе. На основании полученной информации производится подстройка параметров регулятора.

Ошибка регулирования δ , представляющая собой разность задающего воздействия β и регулируемой переменной α , поступает на вход регулятора. На его выходе образуется управляющее воздействие u , которое изменяет желаемым образом регулируемую переменную α .

Проблема состоит в том, что компоненты результирующего объекта управления имеют переменные параметры, на значения которых влияют внешние воздействия f , являющиеся функциями времени. При постоянных параметрах регулятора это не позволяет добиться высокого качества управления при всех возможных сочетаниях значений параметров объекта управления. Поэтому требуется введение устройства адаптации и наличие в регуляторе изменяемых параметров.

Устройство адаптации принимает сигналы β , δ , u , α и использует их для вычисления воздействий v , передаваемых на регулятор. Таким образом, под влиянием воздействий v , формируемых во вспомогательном контуре управления, могут быть изменены некоторые или все параметры регулятора либо непосредственно скорректировано управляющее воздействие.

По способу самонастройки адаптивные системы подразделяются на адаптивные системы разомкнутого и замкнутого типов.

Адаптивные системы разомкнутого типа имеют разомкнутый вспомогательный контур настройки параметров регулятора. Такие системы называются также адаптивными системами с разомкнутыми цепями самонастройки.

Для работы таких систем достаточно измерять внешние воздействия и знать зависимость изменяющихся параметров объекта управления от этих внешних воздействий.

Адаптивные системы замкнутого типа имеют замкнутый вспомогательный контур настройки параметров. Они также называются адаптивными системами с замкнутыми цепями самонастройки.