

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ В РОБОТОТЕХНИКЕ И МЕХАТРОНИКЕ

Дисциплина изучается в 1 и 2 семестрах магистратуры.

Предусмотрены лекции, лабораторные работы,
семинары и самостоятельная работа.

Итоговая аттестация: экзамены в 1 и 2 семестрах

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Конспект лекций.*

2. Афонин В.Л., Илюхин Ю.В. Интеллектуальное управление в робототехнике и мехатронике: учебное пособие – М.: ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», 2018. – 220 с.: ил. (*есть в библиотеке Станкина*)
3. Интеллектуальные роботы: учебное пособие / под общей ред. Е.И. Юревича / И.А. Каляев, В.М. Лохин, И.М. Макаров и др. – М.: Машиностроение, 2007. – 360 с. (*есть в библиотеке Станкина*)
4. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова, 2е изд. — М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. — 744 с.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп. - СПб.: Профессия, 2004.
6. Интеллектуальные системы автоматического управления / под ред. И.М. Макарова и В.М. Лохина. – М.: Физматлит, 2001.

Дополнительная литература

9. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. - М.: Горячая линия - Телеком. 2006. - 452с.
10. Прикладные нечёткие системы. / под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. - М.: Мир. 1993. - 368 с.
11. Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. – Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 312 с.
12. Илюхин Ю.В. Компьютерное управление мехатронными системами: учебное пособие. – М.: ФГБОУ ВПО МГТУ «Станкин».– 2014. – 320 с.: ил. ISBN 978-5-7028-0737-9. (*есть в библиотеке Станкина*)
13. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: Учебное пособие. - М.: Машиностроение, 2006. – 256 с. (*есть в библиотеке Станкина*)
14. Научно-технический журнал «Мехатроника, автоматизация, управление».

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ И МЕХАТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ

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

- **объект управления**,
- **устройство управления**,
- **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.

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).

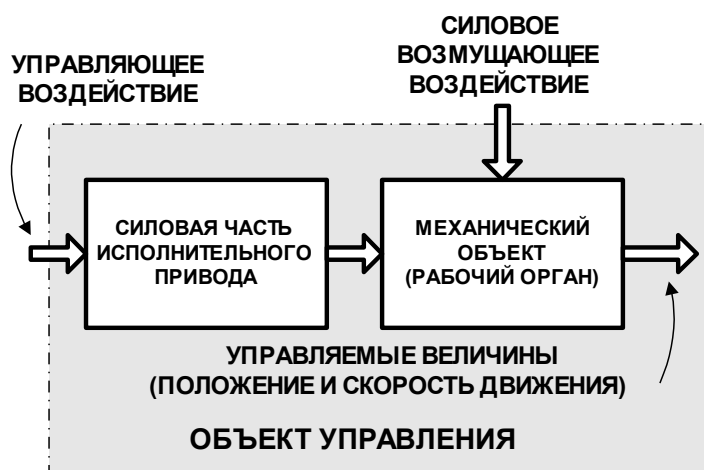


Рис. 1. Структурная схема объекта управления

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).

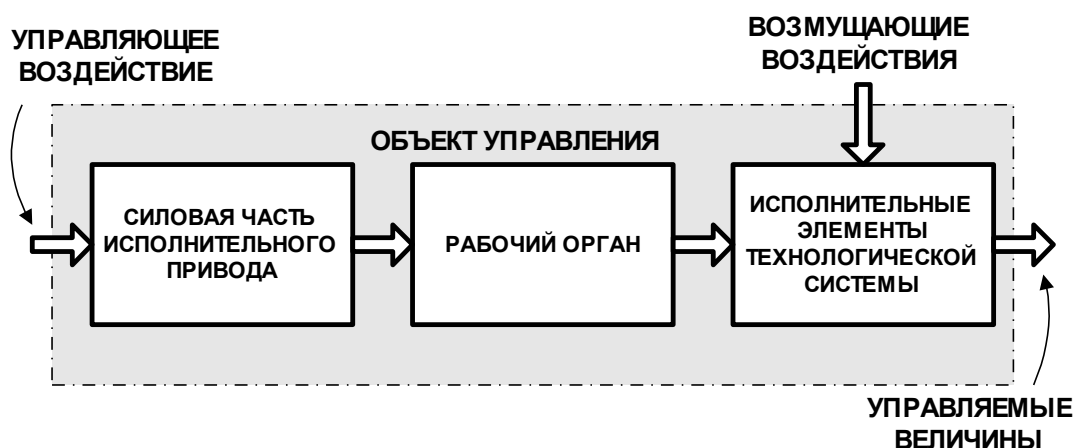


Рис. 2. Структурная схема объекта управления, состоящего из рабочего органа и элементов технологической системы

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).

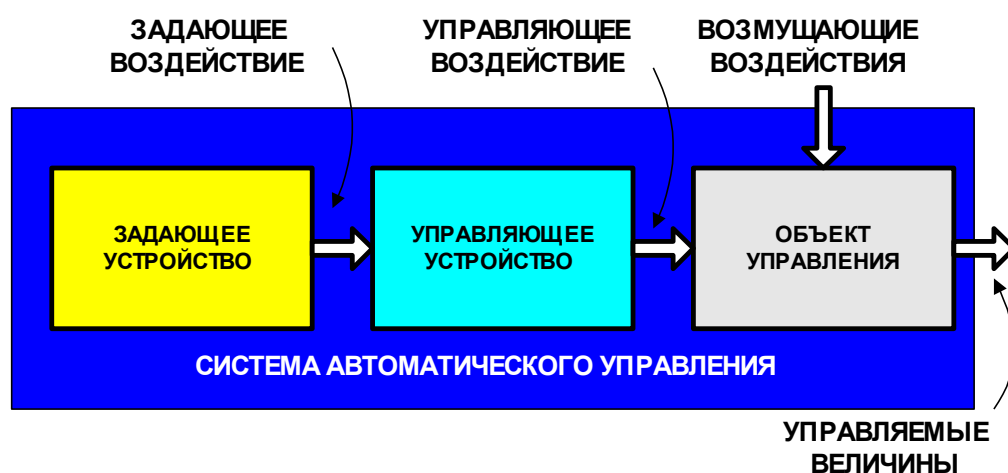


Рис. 3. Структура системы управления по разомкнутой схеме.

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).

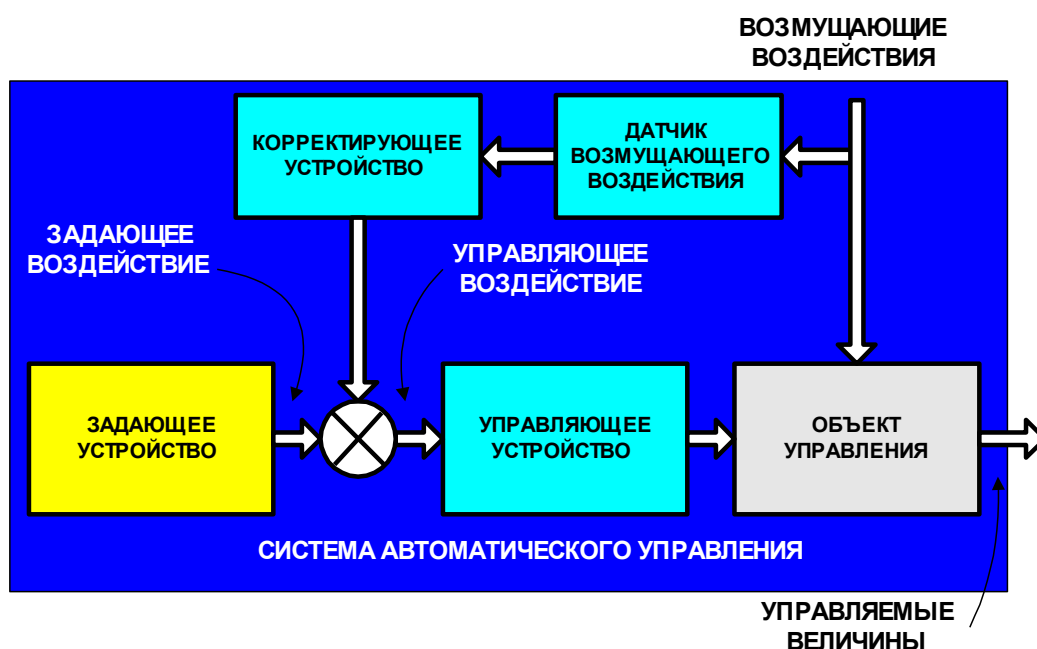


Рис. 4. Структурная схема системы управления, построенная в соответствии с принципом компенсации

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).

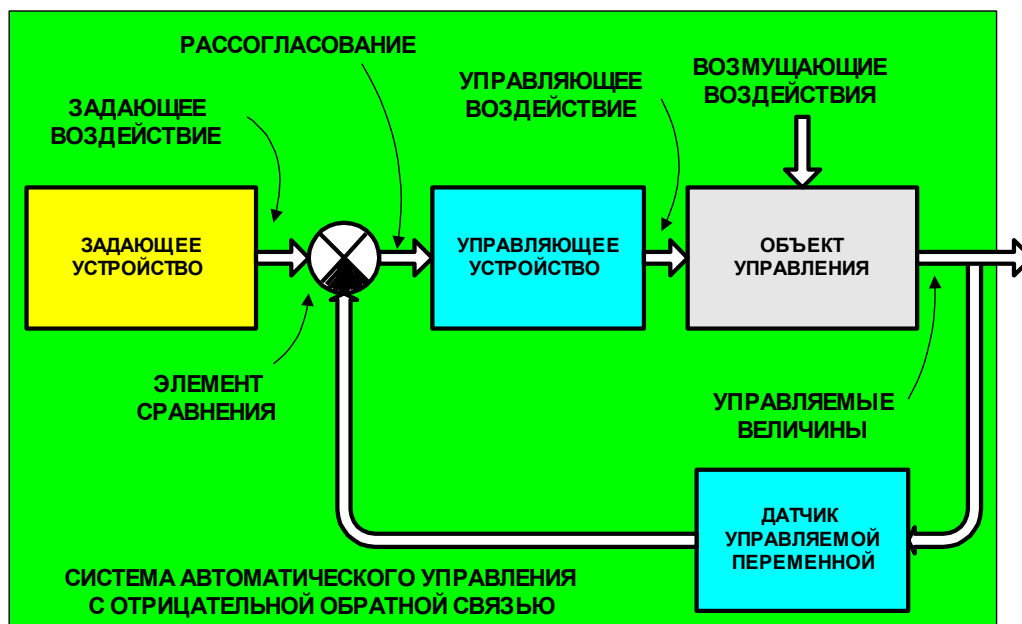


Рис. 5. Структурная схема системы управления, построенная с использованием обратной связи

Управляющее устройство называют *регулятором*, реализующим выбранный *закон управления* (*закон регулирования*).

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

Наиболее распространёнными регуляторами являются пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регуляторы. Такие регуляторы являются линейными. Они описываются линейными дифференциальными и алгебраическими уравнениями.

Но существуют и более сложные регуляторы: нелинейные, адаптивные, построенные с использованием элементов искусственного интеллекта.

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

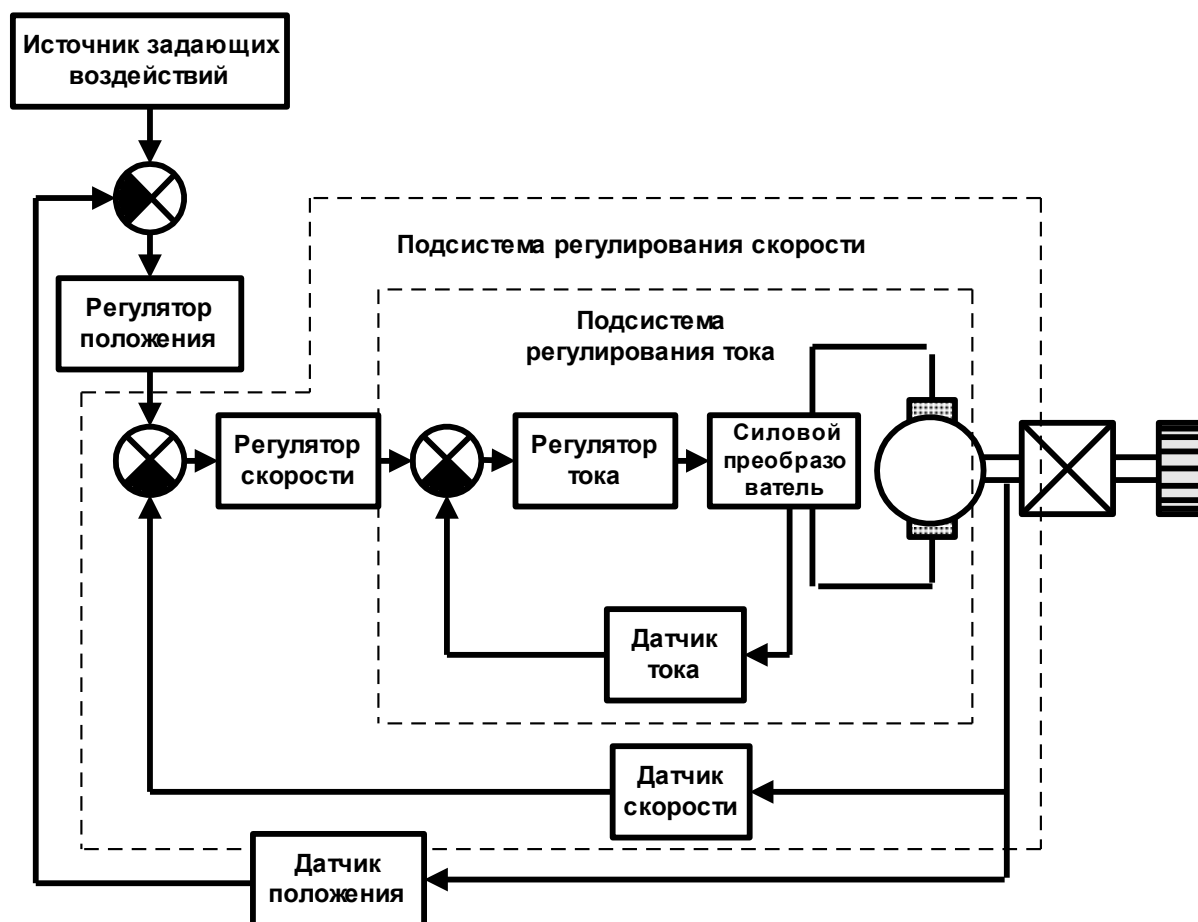


Рис. 6. Структура следящего привода с обратными связями по положению, скорости и току

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).

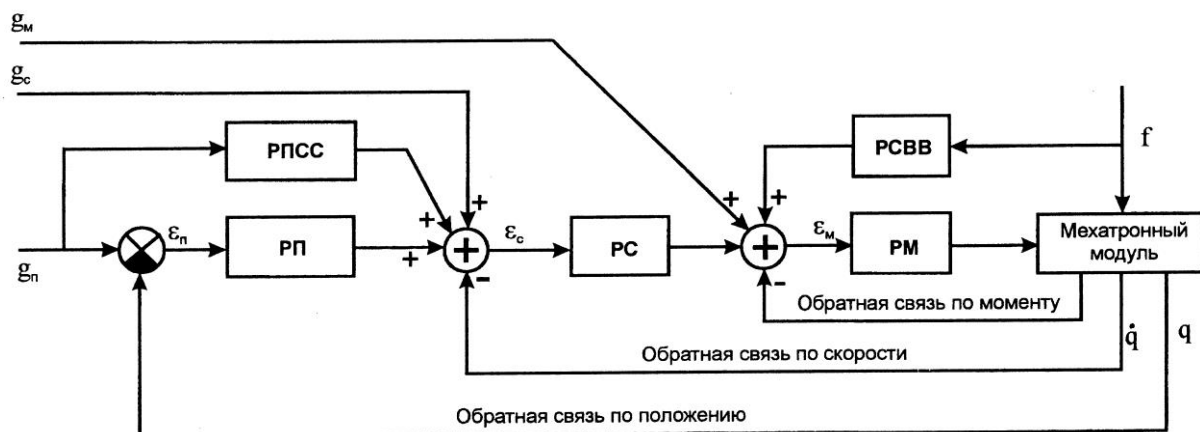


Рис. 7. Структурная схема привода с обратными и прямыми связями

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

- *получает от датчиков сигналы* о состоянии объекта управления и внешних воздействиях,
- *распознает* события, требующие коррекции программ, исполняемых блоком управления,
- 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).

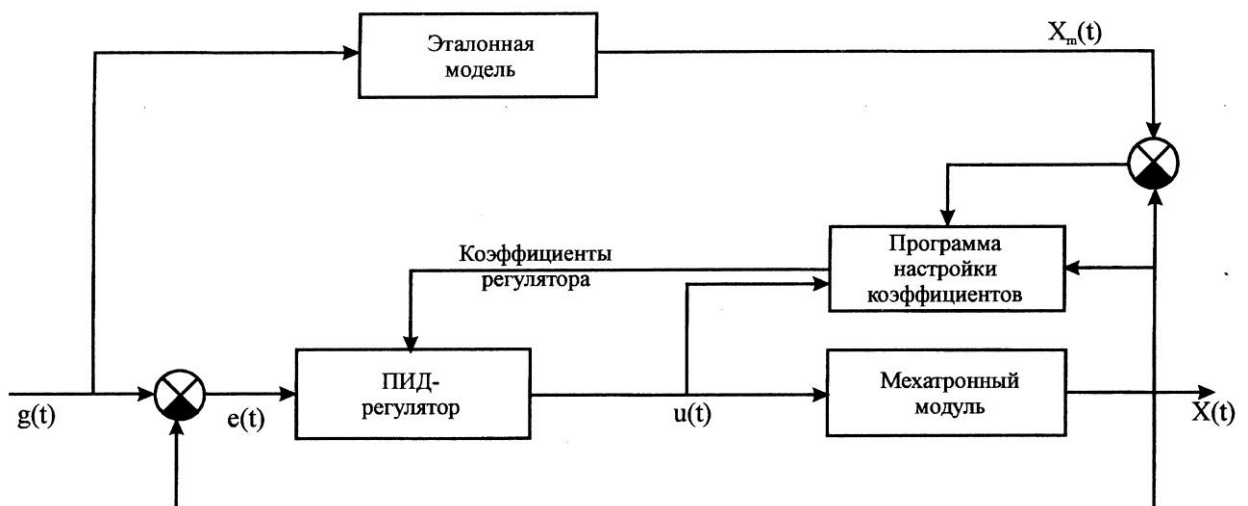


Рис. 8. Пример структурной схемы адаптивной системы с эталонной моделью

Свойства реальной системы управления могут сильно отличаться от желаемых свойств в результате нестабильности 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.

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

6. Робастное управление

Основа систем с робастным управлением 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, оптимальное управление обеспечивает 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 – это *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**.