# ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых распространенных устройств для поддержания заданного уровня сигнала, при внешнем возмущающем воздействии, является ПИД регулятор. Его простая настройка критериев сделала его весьма популярным, и позволило применять практически во всех сферах деятельности.

При настройке регулятора необходимо принимать во внимание диапазон изменения заданной уставке, но также возмущающие воздействие, оказываемые влияние на систему управления. На данный момент существует множество критериев определения параметров системы. Каждый из представленных методов имеет как свои преимущества, так и недостатки. Выбор критерия выбирается исходя из требований к системе управления объектом.

В большинстве случаев на сложных технологических объектах, имеется недостаток информации об объекте управления, это вызывает определенные затруднения в применении ПИД регуляторов. В таких случаях становится необходимым применение адаптивные системы управления.

Адаптивные системы позволяют осуществлять поддержания управляющего воздействия, при переменном состоянии контролируемого объекта управления, и оказываемых на него возмущающих воздействий. Применение адаптивных систем позволяет расширить возможности ПИД регулятора, и применять его там, где нет возможности использовать стандартные средства регулирования системы.

ПИД РЕГУЛЯТОР, АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ, УПРАВЛЕНИЕ, ВОЗМУЩАЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, УРАВНЕНИЕ

# СОДЕРЖАНИЕ

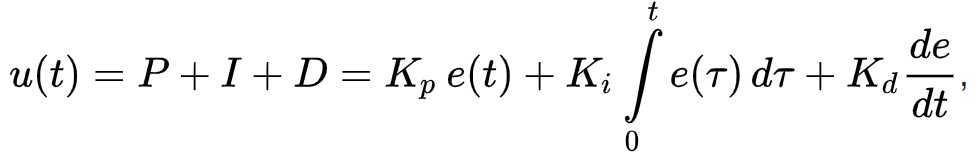
1. [Назначение ПИД регулятора, и область его применения в системах автоматического управления 6](#_TOC_250002)
2. Методы параметрической оптимизации ПИД регулятора 9
   1. Метод Циглера-Николса (Ziegler-Nichols) 9
   2. Метод Чина (Chien)-Хронеса (Hrones)-Pecвикa (Reswick) 11
   3. Метод Кеслера (Kessler) — бетрагсоптимум 12

2.5 Метод Куна (Kuhn) — «правило Т-суммы» 14

1. [Структуры адаптивных регуляторов 18](#_TOC_250001)
2. [Анализ применимости различных методов настройки для адаптивных регуляторов 24](#_TOC_250000)
3. Выводы… 31

# НАЗНАЧЕНИЕ ПИД РЕГУЛЯТОРА, И ОБЛАСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

ПИД регулятором именуется устройство, которое применяется в контурах управления, с применением звена обратной связи. Представленные регуляторы применяют для формирования сигнала управления в автоматических системах управления, тем самым позволяя достичь высоких требований к качеству и точности переходных процессов. Назначение ПИД- регулятора — в поддержании заданного значения r некоторой величины y с помощью изменения другой величины u. Значение r называется заданным значением, а разность e = (r − y) — рассогласованием или отклонением величины от заданной.



ПИД регулятор в [системах автоматического управления](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) применяется для формирования управляющего сигнала чтобы обеспечить необходимую точность и качества переходного процесса. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых [пропорционально](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D1%8F%D0%BC%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования), второе — [интегралу](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BB) сигнала рассогласования, третье — [производной](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8) сигнала рассогласования:

Где *Кp*, *Кi*, *Кd* — коэффициенты усиления пропорционального, интегрирующего и дифференцирующего звена.

Если какой-то из этих компонентов регулятора не учувствует в процессе

сложения, то регулятор управления будет уже не ПИД, а

пропорциональным,

пропорционально-дифференцирующим

просто

или

пропорционально-интегрирующим.

Формирование выходного сигнала дает пропорциональная составляющая. Сигнал этот приводит к противодействию текущему отклонению входной величины, подлежащей регулированию, от установленного значения. Чем больше отклонение — тем больше и сигнал. Когда на входе системы управления значение регулируемой величины равно заданному, то выходной сигнал становится равным нулю.

Если оставить только эту пропорциональную составляющую, и использовать только ее, то значение величины, подлежащей регулированию, не стабилизируется на правильном значении величины. Всегда будет присутствовать статическая ошибка системы, равная такому значению отклонения регулируемой величины, что выходной сигнал стабилизируется на указанном значении.

В качестве примера можно рассмотреть терморегулятор, который осуществляет управление мощного нагревательного прибора. Выходной сигнал уменьшается по мере приближения требуемой температуры объекта, и сигнал управления осуществляет стабилизации необходимой мощности на уровне тепловых потерь. В итоге необходимого значения температура так и не достигнет, поскольку нагревательный элемент должен будет быть выключен, и начнет остывать (мощность равна нулю).

Чем больше коэффициент усиления между входом и выходом системы управления — тем меньше статическая ошибка, но если коэффициент усиления системы управления будет слишком большим, то при условии наличия задержек в системе управления (их наличие неизбежно), в ней вскоре начнутся автоколебания, а если начать увеличивать коэффициент еще больше

— система попросту не сможет быть устойчивой.

Интеграл относительно времени от величины рассогласования — есть основная часть интегрирующей составляющей. Она пропорциональна этому интегралу. Интегрирующая составляющая применяется как раз для борьбы со статической ошибки, поскольку регулятор управления со временем начинает учитывать возникающую статическую погрешность.

В отсутствие внешних возмущений, через определенное время подлежащая регулированию величина будет стабилизирована на нужном значении, тогда пропорциональная составляющая системы управления будет равной нулю, и точность выхода системы управления будет полностью обеспечена интегрирующей составляющей системы. Но интегрирующая составляющая тоже может источником осцилляции около точки позиционирования, если коэффициент регулятора был подобран неправильно.

Величина изменения отклоняющей величины, подлежащей

регулированию, пропорциональна третья — дифференцирующая составляющая системы. Она применяется для того, чтобы противодействовать отклонениям системы (вызванным внешними воздействиями или задержками) от правильного положения, которое возникнет в будущем.

# МЕТОДЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПИД

**РЕГУЛЯТОРА**

В теории систем автоматического управления выбор регулятора осуществляется исходя из модели объекта управления. При этом чем сложнее объект управления, тем применяется более сложный регулятор. В большинстве случаев на реальных технологических объектах применяется ПИД регулятор. Его структура очень простая, по этой причине ПИД регулятор не в состоянии дать хорошее качество переходного процесса технологического объекта.

После определения параметров регулятора в большинстве случаев может потребоваться его ручная подстройка для улучшения качества регулирования. Для этих целей применяется ряд правил, хорошо обоснованных теоретически. При настройке ПИД регуляторов можно использовать и общие методы теории автоматического управления, например, метод назначения полюсов и алгебраические методы.

Все применяемые аналитические (формульные) методы, для настройки регуляторов основаны на аппроксимации динамики объекта моделью первого или второго порядка с задержкой. Причиной этого является невозможность найти аналитического решения систем уравнений, которое необходимо при использовании моделей более высокого порядка. В последние время в связи с разработкой мощных контроллеров, и персональных компьютеров стали получать развитие и распространение численные методы оптимизации. Они являются гибким инструментом для оптимальной настройки параметров регулятора для моделей любой сложности и легко учитывают нелинейности объекта управления.

* 1. Метод Циглера-Николса (Ziegler-Nichols)

Представленный метод был разработан в 1943 г., относится к эмпирическим и основан на использовании данных, которые получаются

экспериментально на реальном объекте. На сегодняшний день наибольшую известность получили два варианта настройки параметров регулятора по методу Циглера–Никольса.

Первый вариант основан на использовании запасов устойчивости системы. В этом варианте процедура настройки системы начинается с экспериментального исследования, состоящей из П-регулятора и заданного объекта регулирования. Коэффициент передачи kП П-регулятора увеличивается до тех пор, пока на выходе системы не установятся колебания с постоянной амплитудой колебаний, то есть система не окажется на границе устойчивости. Фиксируется и обозначается значение коэффициента передачи регулятора, при котором система находится на границе устойчивости. Измеряется период T установившихся в системе колебаний.

Представленный метод имеет один существенный недостаток. Так-как возникает необходимость выводить систему на границу устойчивости, что для многих объектов управления делать не рекомендуется.

Во втором варианте метода Циглера–Никольса применяется реакция объекта на единичное ступенчатое изменение управляющего воздействия. Эту характеристику объекта обычно называют кривой разгона. Объекты управления, которые имеют апериодическую кривую разгона, как на рис. 2.1, можно представить в виде последовательного соединения апериодического и запаздывающего звена.

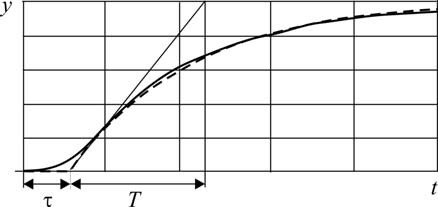
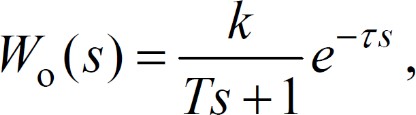


Рис. 2.1 - Реакция объекта управления на ступенчатое воздействие В этом случае передаточная функция объекта имеет вид:



где k – коэффициент передачи, T – постоянная времени, τ – время запаздывания.

Значения параметров регулятора можно рассчитать непосредственно по значениям параметров k, T, τ. Формулы для необходимых расчётов параметров регулятора приведены в табл. 2.1. Метод дает удовлетворительные результаты, если 0,15<τ /T<0,6.

Таблица 2.1 – Определение параметров регулятора методом Циглера- Николса (Ziegler-Nichols)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | kП | kИ | kД |
| П-регулятор | T/kτ |  |  |
| ПИ-регулятор | 0,9T/kτ | 0,3T/kτ2 |  |
| ПИД-регулятор | 1,2T/kτ | 0,6T/kτ2 | 0,6T/k |

ПИД регуляторы, значения которых были рассчитаны по методу Циглера–Никольса, иногда не могут обеспечивать требуемое качество процесса регулирования переходного процесса. Как правило, необходимо применять дополнительные подстройка их параметров. Несмотря на этот недостаток, метод Циглера–Никольса и некоторые его модификации весьма популярны, и многие производители регуляторов рекомендуют применять их для настройки своих регуляторов.

* 1. Метод Чина (Chien)-Хронеса (Hrones)-Pecвикa (Reswick)

Метод Чина-Хронеса-Ресвика появился в последствии развития метода Циглера-Никольса. Данный метод основан на анализе отклика ОУ на подаваемое ступенчатое тестовое воздействие. Этот метод позволяет получить больший запас устойчивости, но коэффициент передачи будет меньше, чем у метода Циглера-Никольса. Для расчёта настроечных параметров снимается

переходная характеристика объекта в ответ на ступенчатое изменение регулирующего воздействия и по ней находят параметры объекта: τ - время

запаздывания, T0 - постоянная времени объекта, http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/1.png – коэффициент передачи объекта и по ним рассчитывают параметры настройки

регулятора Kр , Ti, Td. Главным отличием от метода Циглера-Никольса являются расчетные формулы для определения коэффициентов, приведенные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Определение параметров регулятора методом Чина (Chien)-Хронеса (Hrones)-Pecвик a (Reswick)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Без перерегулирования | | | С 20-процентным  перерегулированием | | |
| kП | Ti | Td | kП | Ti | Td |
| П-регулятор | 0,3· To  τ·Ko |  |  | 0,7· To  τ·Ko |  |  |
| ПИ-регулятор | 0,6· To  τ·Ko | 4τ |  | 0,7· To  τ·Ko | 2,3τ |  |
| ПИД-регулятор | 0,95· To  τ·Ko | 2,4τ | 0,42τ | 1,2· To  τ·Ko | 2τ | 0,42τ |

Существенными преимуществами использования указанного метода является простота определения параметров регулятора системы и уменьшенное время настройки. Недостатки аналогичны ранее представленному методу Циглера-Никольса: неопределенность в вопросе запаса устойчивости системы, ставящая под вопрос надежность работы регулятора в условиях производства, невысокое качество осуществляемой настройки. Более того, представленный метод требует наличия разгонной характеристики объекта управления, что в реальных условиях работающего оборудования получить достаточно сложно.

* 1. Метод Кеслера (Kessler) — бетрагсоптимум

Суть метода Кеслера заключается в поддержание на уровне единицы величины передаточной функции замкнутого контура регулирования по управляющему воздействию в возможно более широком диапазоне частот ω≥30:

http://masters.donntu.org/2004/eltf/markov/diss/images/image001.gif (1)

http://masters.donntu.org/2004/eltf/markov/diss/images/image002.gifгде W(jω), X(jω) — это входной и выходной сигналы системы управления. При помощи чего осуществляется более высокие динамические свойства минимально-фазовой системы регулирования. Данные условия могут быть осуществлены зависимостью для модуля амплитудно-частотной характеристики.

(2)

Выходящие отсюда условия для коэффициентов дробной рациональной передаточной функции в реальных условиях из-за малого числа параметров регулятора в большинстве случаев могут быть выполнены лишь в ограниченном диапазоне низких частот. К тому же найденное математическое решение должно быть проверено на его техническую реализацию.

Так, например, следует выяснить, не окажутся ли параметры ПИД- регулятора ТИ и ТД отрицательными величинами. Несмотря на определенное несовершенство, бетрагсоптимум как принцип проектирования САР в настоящее время получил широкое распространение также и в сопряжении с другими методами.

При использовании бетрагсоптимума как принципа проектирования САР рассматриваются одноконтурные системы регулирования, в которых передаточная функция объекта по управляющему воздействию имеет вид:

http://masters.donntu.org/2004/eltf/markov/diss/images/image003.gif (3)

http://masters.donntu.org/2004/eltf/markov/diss/images/image004.gifА передаточная функция идеального ПИД-регулятора как корректирующего устройства представляется в виде:

(4)

Здесь x(s), y(s), и xd(s) являются преобразованиями Лапласа регулируемой величины x(t), управляющего y(t) и задающего воздействий W( t), а также рассогласования xd(t)=W(t)-x(t), где W(t) — преобразование задающего воздействия. Коэффициент усиления КР, постоянные времени интегрирования ТИ и дифференцирования TД являются искомыми параметра ми регулятора.

http://masters.donntu.org/2004/eltf/markov/diss/images/image005.gifВ основу известной формы бетрагсоптимума положена передаточная функция объекта (3) с постоянным числителем

(5)

При выполнении требования (2) исходят из того, что из него могут быть получены формулы для вычисления параметров регулятоpa KР, ТИ, ТД (4). Однако, реализовать их можно только в случае вещественных или достаточно задемпфированных комплексных полюсов объекта. Опыт показывает, что ответная реакция спроектированного по этому методу контура с ПИД- регулятором представляет собой хороший переходный процесс с малыми перерегулированиями.

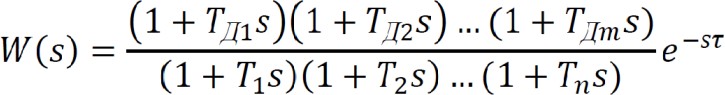
Однако с ростом порядка системы n перерегулирования несколько возрастают. Хотя бетрагсоптимум разрабатывался с ориентацией на управляющие воздействия, но спроектированный по этому методу регулятор согласно опытным данным показывает удовлетворительную работу также и при возмущающих воздействиях.

* 1. Метод Куна (Kuhn) — «правило Т-суммы»

При использовании «правила *Т*-суммы» отдаётся предпочтение несколько более медленному переходному процессу, но исключающему

значительные перерегулирования, т.е. предполагается «осторожная настройка регулятора». Уточнение настройки параметров регулятора может быть затем выполнено на объекте в процессе внедрения и эксплуатации системы регулирования. Кроме того, правила настройки должны быть не слишком сложными, упрощающими их применение. Метод Куна дает хорошие результаты, но он требует использования таблиц, поэтому невозможно быстро определять параметры регулятора по переходной функции системы. По этому методу на основании переходной функции путем интегрирования выполняется расчёт различных характеристических коэффициентов и затем лишь по ним находятся параметры регулятора. Этот метод поэтому более подходит для настройки адаптивных приборов регулирования и в меньшей мере для ручной настройки регуляторов. Рассматриваемый метод ориентирован на объекты с передаточной функцией в форме *S* (см. рисунок 1.1). В модели этих объектов вводится суммарная постоянная времени *TΣ* как характеристический параметр.

Параметром, характеризующим быстродействие рассматриваемых объектов, является суммарная постоянная времени *TΣ*. Этот параметр был введен многими авторами в начале 1960-х годов. Для системы с передаточной функцией:



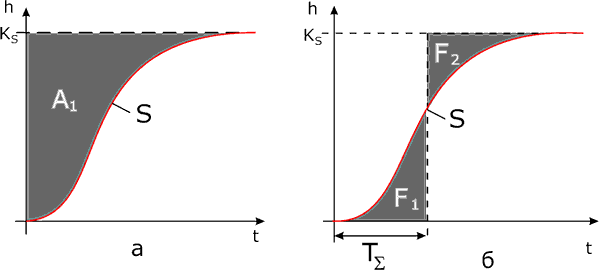


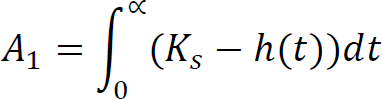
Рисунок 2.2 — Графики переходного процесса при единичном входном сигнале (а) и для определения суммарной постоянной времени (б): S — точка

перегиба в сигнале на выходе объекта; TΣ — суммарная постоянная времени; КS — коэффициент усиления модели объекта с передаточной функцией в форме S

Суммарная постоянная времени:



Эта величина *TΣ* может быть получена непосредственно из ответной реакции на ступенчатый входной сигнал системы (1.1), так как для заштрихованной площади на рисунке 1.1, *а* имеем:



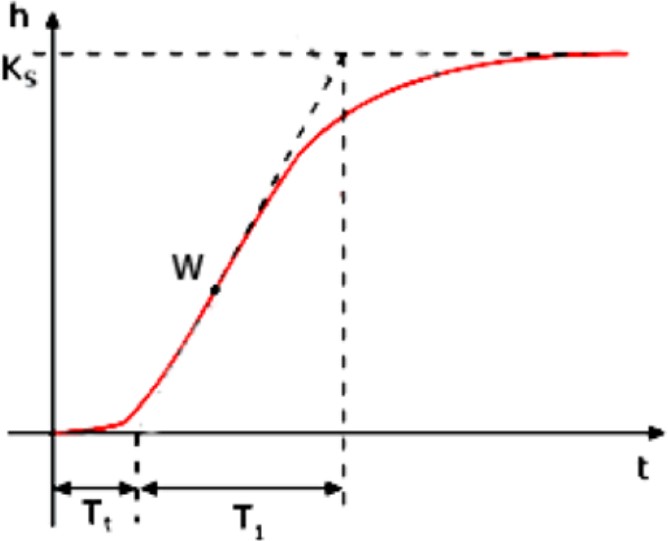
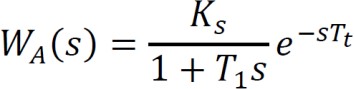
При ручной обработке, т.е. рассмотрением переходной функции, можно также определить *TΣ*, как это показано на рисунке 1.1, *б*, выделением двух заштрихованных площадей в графике переходной функции. Эти площади должны быть одинаковыми, а на их границе может быть считана величина *TΣ*.

Рисунок 2.3 — Графики, иллюстрирующие применение вариантов определения параметров звена с запаздыванием. *T1*, *Tt* — параметры звена, W – точка перегиба.

Другая возможность ручного определения величины *TΣ* состоит в применении метода касательной в точке перегиба (см. рисунок 1.2*)*. В точке перегиба *W* на графике переходной функции считываются времена *Т1* и *Тt*.



Тогда, согласно уравнению (2) суммарная постоянная времени:



Определение *T1* и *Tt* по касательной в точке перегиба обычно дает завышенную величину *TΣ*, как это следует из рисунка 1.2.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Настройка | Тип  регулятора | Параметры регулятора | | |
| Kp | Tи | Tд |
| Нормальная | П | 1/KS | - | - |
| ПД | 1/KS | - | 0,33TΣ |
| ПИ | 0,5/KS | 0,5TΣ | - |
| ПИД | 1/KS | 0,66TΣ | 0,167TΣ |
| Быстрая | ПИ | 1/KS | 0,7TΣ | - |
| ПИД | 1/KS | 0,8TΣ | 0,1194TΣ |

# СТРУКТУРЫ АДАПТИВНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Существующие системы автоматического управления можно разделить на две отдельные группы:

* с заранее (априорно) заданными характеристиками системы. Данные системы нашли свое применения в тех случаях, когда нет необходимости контролировать изменение свойств объекта управления;
* адаптивные (приспосабливающиеся) системы управления. Применяются в тех случаях, когда свойства объекта управления с течение времени могут изменяться.

Для управления объектом, адаптивные системы управления, должны обеспечивать выполнение трех функций:

* решение задачи синтеза по заданному показателю качества объекта;
* получение и обработка текущей информации об управляемом процессе технологического объекта;
* изменение свойств системы управления.

Для выполнения указанных функций в основном контуре управления системы применяют вычислительное устройство, которое имеет в своем составе три взаимодействующих блока: анализатор, синтезатор, исполнительное устройство.

Анализатор – применяется для обработки информации, об характере динамических свойств системы и действующих на нее внешних возмущений

Синтезатор – предназначен для решения задач синтеза адаптивных свойств системы в зависимости от анализа изменения ее параметров, структуры или алгоритма управления системы.

Применение анализатора позволяет получать как информацию об состоянии системы управления, так и информацию об состоянии объекта управления, и воздействующих на него возмущающих воздействий.

Для перестройки текущих параметров системы управления, применяется исполнительное устройство. Которое обеспечивает перестройку текущих параметров системы.

Адаптивные системы управления можно разделить три основных класса:

* самообучающиеся, применяются для улучшения свойств управления объектом. В этих системах сохраняются предыдущие алгоритмы управления, и на проведение их анализа изменяется управляющие воздействие;
* самонастраивающиеся, данные системы обеспечивают управление, за счет контроля параметров объекта управления;
* самоорганизующиеся, обеспечивают контролируемое изменение структуры, а также возможное изменение параметров и управляющих воздействий в системе.

Самонастраивающиеся системы

Данный вид систем управления можно разделить на самонастраивающиеся системы (СНС) с эталонной моделью и адаптивные системы управления с идентификатором.

Принцип действия адаптивной системы управления с эталонной моделью, состоит в том, чтобы адаптор обеспечивал сходимость к нулю ошибки слежения — разности между выходными сигналами основного контура и эталонной модели.

В адаптивной системе управления с эталонной моделью имеется динамическую модель применяемой системы, в которой заложены требуемые параметры качества переходного процесса системы (рисунок 2.4). Адаптивная система управления с эталонной моделью (ЭМ), помимо основного контура, содержащего регулятор воздействия (Р) и объект управления (О), включает контур с ЭМ и преобразовательно-исполнительное устройство (ПИУ).

Эталонная модель вырабатывает желаемый (эталонный) выходной сигнал управления. После чего определяется разность между заданным и фактическим сигналом управления.

На основании полученной информации, об отклонении величины управления, преобразовательно-исполнительное устройство производит перестройку параметров регулятора. От точности выбора эталонной модели определяется качество функционирования всей системы.

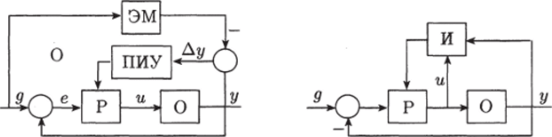


Рисунок 2.4 – система с эталонной моделью, и система с идентификатором

Эталонная модель должна удовлетворять двум требованиям: с одной стороны, она должна отражать все требования к качеству синтезируемой системы, с другой стороны, эталонная реакция должна быть достижима для основного контура. Последнее требование накладывает ограничения на структуру эталонной модели, определяемой предполагаемой структурой основного контура.

Регулятор должен обладать низкой инерционностью, тем самым обеспечивая качественное воздействие на объект управления. Таким образом подстраивая передаточную функцию основного контура управления, чтобы она была равна передаточной функции эталонной модели.

Адаптивные системы управления с идентификатором имеют следующий принцип работы. Они содержат в контуре адаптации идентификатор И (рис. 2.4), который служит для идентификации неизвестных параметров объекта на основе изучения входного и выходного сигналов объекта. Полученная

идентификатором информация затем применяется для подстройки нужных значений параметров регулятора.

Существуют два способа адаптивного управления с идентификатором: прямой и непрямой. При непрямом адаптивном управлении сначала определяется оценка параметров объекта, а затем исходя из полученных оценок определяются требуемые значения параметров регулятора и производится их подстройка.

При прямом адаптивном управлении исключается этап идентификации параметров объекта. В этом случае, учитывая, что между параметрами регулятора и объекта имеется связь, определяемая выбранным законом управления, производится непосредственная оценка и прямая подстройка параметров регулятора.

Самоорганизующиеся САУ

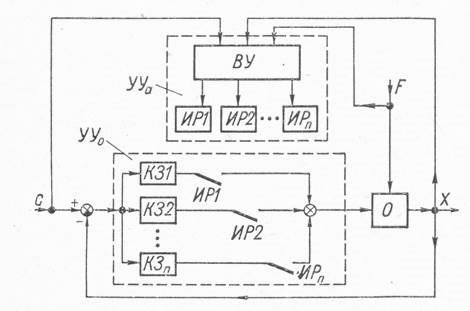


Рисунок 2.5 - Простейшая самоорганизующаяся САУ.

Если система управления изменяет свою структурную схему при возникновении ошибки управления, то такую систему называют самоорганизующейся. Функциональная схема самоорганизующейся системы управления изображена на рисунке 2.5.

Варьируемая часть системы УУо являются набором определенного числа корректирующих звеньев КЗi, которые включаются в контур управления САУ или выключаются от нее при срабатывании исполнительного реле ИРi обеспечивающего адаптацию устройства при изменении параметров системы. Задача управляющего устройства адаптации заключается в осуществлении стабилизации или оптимизации принятого критерия качества управления, путем выбора определенного корректирующего звена или комбинации этих звеньев.

Возможна комбинация, которая состоит в применении самоорганизующейся САУ и системы самонастройки численных значений параметров корректирующих звеньев системы. В данном случае появляются два этапа (уровня) адаптации: первый этап - выбор структуры, т. е. выбор типа коррекции (выбор конечного корректирующего звена или их комбинации), второй этап – осуществление самонастройки параметров выбранной коррекции.

Изменение структуры системы во время адаптации резко расширяет диапазоны изменения свойств объекта и внешних условий, при которых самоорганизующаяся САУ сохраняет обеспечивает свою работоспособность с выполнением всех заданных требований к качеству управления, в отличии от самонастраивающимися САУ. Указанные качества системы, осуществляются за счет значительного существенного усложнения контура адаптации.

Самообучающиеся САУ

В сложных системах управления, получили распространение самообучающие САУ. Самообучающие системы – называют такое автоматическое устройство, которое формирует свой алгоритм управления объектом, на основании хранения информации об предыдущих результатов.

Причиной появления подобных систем является наличие только априорной информации об характере процессов, протекающих в системе, и внешних возмущающих воздействиях на объект.

Поскольку при создание подобных систем управления отсутствует необходимая априорная информация, то единственным способом обеспечивать управление объектом, является ее обучение.

Обучение – это процесс внешнего воздействия на систему, и определение его необходимого ответного воздействия. Данный процесс может осуществляться как автоматически самой системой, так и вручную при помощи оператора. Таким образом формируется недостающая информация об характере процесса. Если обучение системы осуществляется без внешнего вмешательства, то такая система называется самообучающейся.

По мере накопления информации об управляемом объекте, происходит изменение алгоритмов управления. Алгоритмы обучения системы формируются при помощи цифровой либо аналоговой вычислительной технике. Результатом изменения алгоритмов управления, является формирование необходимой реакции системы на внешние воздействия. Такая реакция формируется не моментально, а через определенный промежуток времени, по мере обучения. При этом алгоритм управления основанный на самообучении все время совершенствуется.

На первом этапе самообучения используется заранее заложенный алгоритм управления, и его структура. Если данный вариант управления системой не смог обеспечить выполнение поставленной задачи, то система перестраивается и выбирает другой вариант работы. Данный процесс будет осуществляться до тех пор, пока система управления не сможет справиться с поставленной задачей. После чего система управления произведет запоминание внешних воздействий, и алгоритма, обеспечивающего стабилизацию системы управления.

# АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ ДЛЯ АДАПТИВНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Процесс создания адаптивной системы управления начинается с проведения анализа уже существующих структурных схем управления, и провести их анализ, определить их преимущества и недостатки.

Рассмотрим пример системы автоматического управления, в которой не применяется контур адаптации, общий вид систем представлен на рисунке 4.1. Определение переходных характеристик системы осуществляется за счет преобразования преобразование функций времени по Лапласу. Определив выходной сигнал системы, нужно осуществить обратное преобразование Лапласа тем самым определив функциональную зависимость системы во временной области.

Выходная величина системы управления Y(t), должна быть равна сигналу задания V(t). В представленной системе используются следующие обозначения: E(t) – это разность между заданной величиной, и сигналом на выходе, т.е. ошибка в управлении системы, U(t) – это сигнал управления системы управления, Z(t) – сигнал с выхода системы. Все указанные величины взяты в терминах приращений к их равновесным состояниям вследствие действия отрицательной обратной связи.

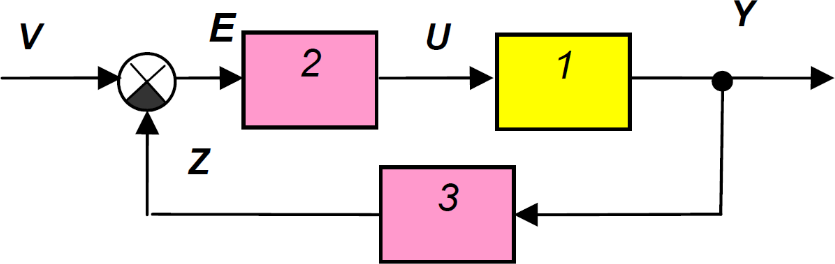


Рисунок 4.1 - Традиционная система: 1 – объект, 2 – последовательный регулятор, 3 – регулятор в обратной связи.

Определим аналитические зависимости представленной системы. Указанная структура системы на рисунке 4.1 будет эквивалентна набору уравнений в следующей операторной форме:

E=V-Z, (1)

U=W2E, (2)

Y=W1U, (3)

Z=W3Y, (4)

Из (1) – (4) можно определить вывести следующую математическую зависимость системы:

𝑌 = 𝑊1𝑊2 𝑉 1 + 𝑊1𝑊2𝑊3

Результатом решения указанного соотношения являются следующие математические зависимости.

Следствие 1. Если W1W2 **→** ∞, то Y → V/ W3. Следствие 2. Если W3=1, W1W2 **→** ∞, то Y → V.

Следствие 3. Если условия из Следствия 2 имеют решение лишь в небольшом диапазоне частот, то выходной сигнал системы управления Y(t) будет равен заданию V(t). Данное следствие будет иметь смысл только тогда, когда в остальных областях частот дробь W1W2 / (1+ W1W2W3) не будет равна бесконечности. Таким образом применение данной системы возможно лишь при определенном состоянии передаточных функций W1W2W3, находящихся в знаменатели дроби. Для решения данной проблемы необходимо применение регулятора управления.

Следствие 4. Передаточная функция которая находится в обратной связи, может быть представлена единичной связью: W3=1, а условия Следствия 3 могут быть выполнены за счет соответствующего вида W2 в зависимости от вида W1.

Следствие 5. В случае изменения передаточной функции W1, и при постоянном значении передаточной функции W3=1, может потребоваться изменение передаточной функции W2, для выполнения условий Следствия 3.

Следствие 6. В случае выполнения условий следствия 3 ошибка управления объектом будет приближена к нулю в следующем диапазоне полосе частот: E≈0.

Общий вид структурной схемы управления типичной структуры адаптивной системы управления, в которой осуществляется адаптация по входному сигналу приведена на рисунке 4.2.

Рассмотрим принцип действия данной системы. Когда сигнал задания V(t) осуществляет изменение во времени, должно происходить соответствующее изменение выходного сигнала системы Y(t). Во всех реальных технологических системах, сигнал Y(t), никогда не будет в точности повторять сигнал управления V(t),

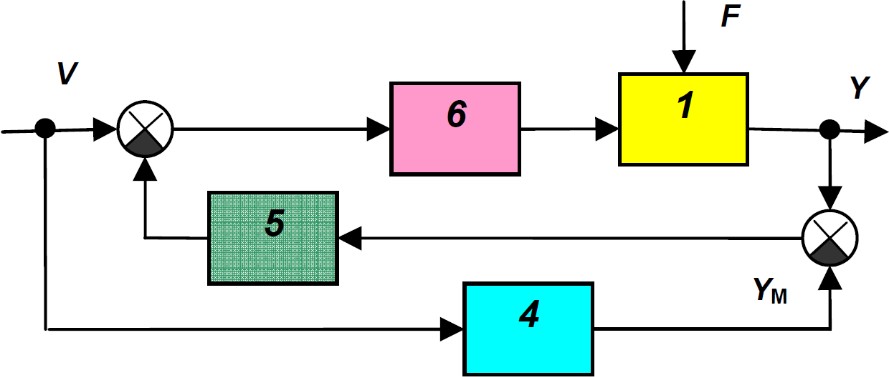
Принцип действия представленной системы состоит в следующем. Если входной сигнал V(t) осуществляет изменение во времени, то это должно вызвать также изменения выходного сигнала системы Y(t). Считается допустимым, что сигнал Y(t) будет не полностью повторять заданный сигнал V(t), а лишь частично быть равной ему, в заданном диапазоне частот, от нулевых до некоторой величины частоты.

Рисунок 4.2 - Адаптивная система: 1 – объект, 6 – регулятор, 4 – эталонная модель (замкнутой системы), 5 – усилитель с большим коэффициентом, реализующий глубокую обратную связь

Это означает, что представленная система управления, будет осуществлять надежное управление объектом, если будет работать как низкочастотный фильтр входного сигнала. Естественно, состояние выходного

сигнала может не соответствовать заданной величине управления. Для этих целей выходной величины измеряется некоторым датчиком и преобразуется в электрический, сам датчик в схеме управления не показан, предполагается, что его передаточная функция равна единице.

Блок 4 на рисунке 4.2 – это эталонная модель системы управления. Эталонная модель – устройство, реализующее такое же преобразование входного сигнала V(t), какое должна осуществлять система. По этой причине выходной сигнал с блока 4 YМ(t), будет совпадать с выходным сигналом системы Y(t).

Разница между сигналами с эталонной модели и реального объекта вычисляется при помощи вычитания и затем усиливается усилительным блоком 5. Таким образом сформированный сигнал, по обратной связи, сводит ошибку управления к нулю.

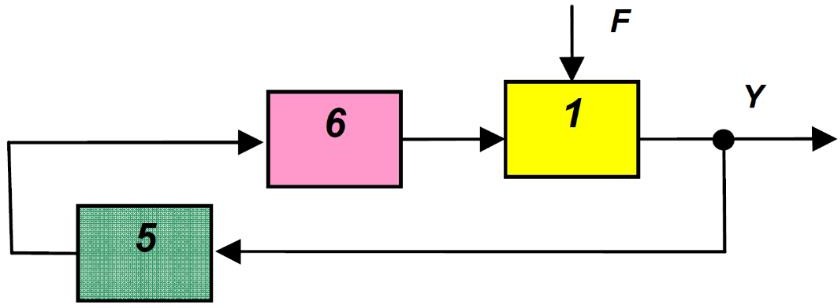
У представленной системы управления имеется один серьезный недостаток: если заданный сигнал примет значение V(t) = 0, то выход у блока 4 будет иметь нулевое значение. Исходя из этого условия, систему на рисунке 4.2, можно представить соответствующей структурной схемой на рисунке 4.3.

Рисунок 4.3 - Система, эквивалентная системе по Рис. 4.1 при нулевом входном сигнале: 1 – объект, 6 – регулятор, 5 – усилитель с большим коэффициентом

Условием устойчивости структурной схемы управления на рисунке 4.3, является создание устойчивости замкнутого контура, который включает в себя последовательное соединение элементов 5 и 6. Если замкнутый контур будет устойчив, то возмущающие воздействия, не смогут вывести его из состояния

равновесия при любых сигналах. Таким образом, если контур системы управления на рисунке 4.3 устойчив к возмущающим воздействием, то и система на рисунке 4.4 также будет устойчива и наоборот.

Особенность применения адаптивных систем является, непредвиденное изменение модели объекта, из-за переменной составляющей функционального блока W1. Из этого следует, что невозможно обеспечить устойчивость замкнутого контура с неизменным последовательным регулятором. В случае устойчивости структурной системы на рисунке 4.3, с постоянными значениями блоков 5 и 6, тогда структуру по рисунку 4.1 можно представить в следующем виде:

W3 = 1, W3 = W5W6. (6)

При выполнении условия (6) система управления, показанная на рисунке

* 1. будет иметь устойчивое состояние при любых изменениях параметра объекта. Таким образом система управления, отображенная на рисунке 4.2, будет иметь практическую реализацию при нахождении эффективной структуры на рисунке 4.1. Но система, изображенная на рисунке 4.2 используется для задач, связанных с проектирования регулятора, когда невозможно составить эффективную структуру по рисунку 4.1. Таким образом данная структура может быть применена лишь тогда, когда она не нужна, и не может быть применена тогда, когда она реально необходима.

Исходя из этого можно сделать вывод, что на рисунке 4.2, контур адаптации не имеет смысла в реализации. В качестве стабилизирующей системы применяемая структура управления неэффективна. В данном контуре имеется только один нестационарный элемент (объект), а другие остаются постоянными. По этой причине указанную систему нельзя считать адаптивной.

Ниже на рисунках 4.4 – 4.6 изображены некоторые виды адаптивных систем, найденных из различных литературных источников. Проанализировав

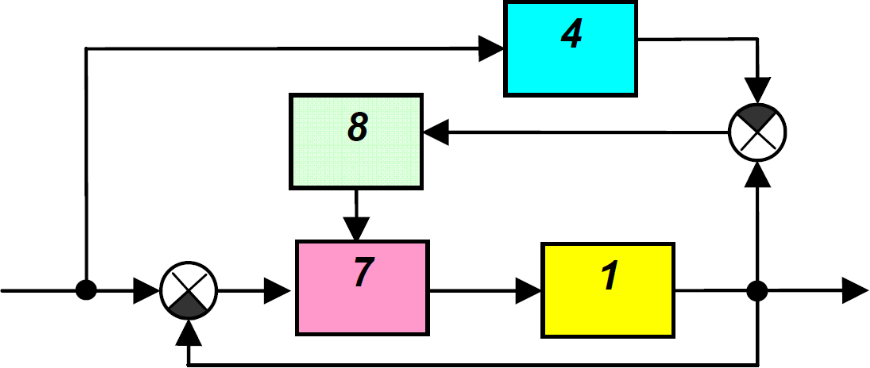
представленные модели, можно сделать вывод, об сходстве их структуры управления.

Рисунок 4.4 – Пример адаптивной системы. 1 – объект, 7 –регулятор, 4

– эталонная модель, 8 – преобразовательно-исполнительное устройство

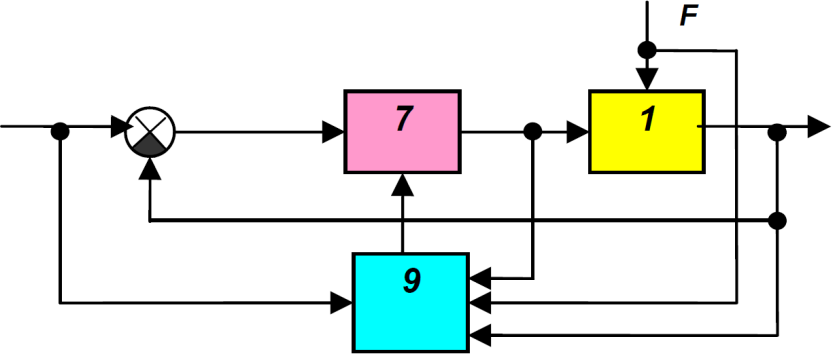


Рисунок 4.5 – Пример адаптивной системы. 1 – объект, 7 – регулятор, 9 – адаптер

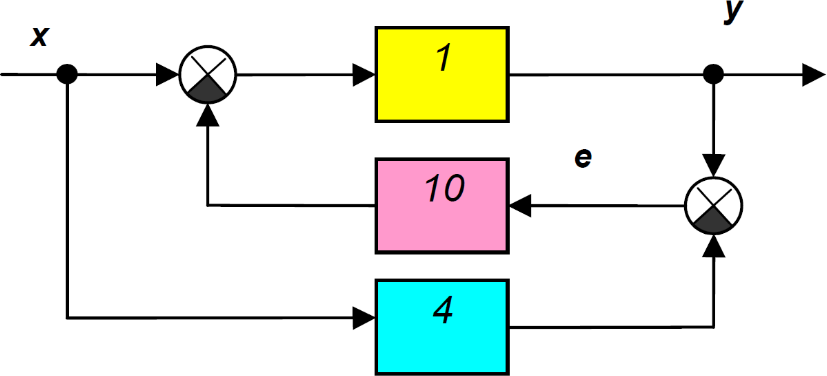


Рисунок 4.6 – Пример адаптивной системы. 1 – объект, 10 – регулятор, 4

– модель

Как следует из рисунков 4.4 – 4.6, при заданном сигнале управления равным V(t) = 0, выходной сигнал некоторых блоков равен нулю, то есть данный блок работать не будет. Таким образом указанная система управления не будет работать. Осуществив соответствующие преобразования систем

управления изображенных на рисунках 4.4 - 4.6, можно прийти к результатам, которые были проделаны в отношении структуры по рисунку 4.2. Указанные структуры могут быть эффективными лишь в отдельно взятом случае. А именно: когда имеется возможность определить параметры последовательного регулятора, при котором система с ним и с данным объектом может быть эффективна при всех возможных изменениях свойств модели этого объекта. Таким образом представленные виды «адаптивных» структур будут показывать эффективность лишь в случаях, когда адаптивная система не обязательна, и текущие задачи можно решить при помощи обычного последовательного регулятора.

# ВЫВОДЫ

В представленной ВКР был подробно рассмотрен принцип действия ПИД регулятора, его назначение и применение в современных системах автоматического управления технологического процесса.

Одной из ограничений в применении ПИД регулятора, является нахождение его математических коэффициентов. Таким образом был проведен анализ известных методах параметрической оптимизации ПИД регулятора. Были определены математические зависимости нахождения коэффициентов системы.

Поскольку в большинстве случаях нахождение коэффициентов математической модели затруднено, из-за недостаточного количества исходных данных, были рассмотрены структуры адаптивных регуляторов, их отличительные структуры, и способы применения в промышленных системах автоматического управления.

На основании полученной информации, были рассмотрены способы применения систем с адаптивным регулированием объекта. В ходе проведенного анализа был проведен анализ применимости различных методов настройки для адаптивных регуляторов, и сделан вывод об целесообразности применения указанных систем.

# ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

* + 1. Автоматизация производства и промышленная электроника. В 4-х т. Т. 1 / Под ред. А. И. Берга и В. А. Трапезникова. – М.: Сов. Энциклопедия, 1962.
    2. Алексеев В. М., Тихомиров В. М., Фомин С. В. Оптимальное управление – М.: Наука, 1979. – 430 с.
    3. Андриевский Б.Р., Фрадков А. Л. Избранные главф теории автоматического управления. – СПб: Наука, 1999 – 466 с.
    4. Антимюк В.Л. Опейко О. Ф., Михеев Н. Н. Теория автоматического управления – Минск: ДизайнПРО, 2002. – 352 с.
    5. Атанс М., Фалб П. Оптимальное управление – М.: Машиностроение, 1968. – 764 с.
    6. Барабашин Е. А. Введение в теорию устойчивости. – М.: Наука, 1967. – 224 с.
    7. Беллман Р. Процессы регулирования с адаптацией. – М.: Наука, 1964. – 360 c.
    8. Беллман Р. Введение в теорию матриц - М.: Наука, 1969. – 368 c.
    9. Бессекерский В.А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1966. -992 с.
    10. Байчук Л.М. Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления. – М.: Энергия, 1971.
    11. Болтянский В. Г. Математические методы оптимального управления. – М.: Наука, 1966. – 992 с.
    12. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 544 с.