

# РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ПИД РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ТЕПЛА

**КОЛЬЦОВ Василий Игоревич**

студент

**ВОПРИКОВ Антон Владимирович**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы электроснабжения»

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

г. Хабаровск, Россия.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с развитием теоретических вопросов в области разработки адаптивного ПИД регулятора, предназначенного для оптимизации процессов управления, в том числе управления при преобразовании тепла. Рассмотрены основы и методы настройки коэффициентов ПИД регулятора, а также принципы адаптивного ПИД регулятора.

**Ключевые слова:** ПИД регулирование, автоматизация, объект управления, система автоматического регулирования, адаптивное управление.

## **Введение**

Вопрос оптимизации процессов управления является ключевым для автоматизации процессов преобразования тепла и тесно связан с эффективной и экономичной работой тепловых сетей. Цель оптимизации процессов управления преобразованием тепла заключается в достижении минимальных потерь и затрат ресурсов при передаче тепловой энергии. Для решения данной задачи используют ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциальные) регуляторы, играющие важную роль в управлении этими процессами. Данные регуляторы позволяют поддерживать контролируемый параметр на заданном уровне, тем самым приближая к нулю модуль разности между желаемым и контролиру-

емым значением. Говоря другими словами, использование ПИД регулятора позволяет добиться стабильности процесса и поддерживать его на необходимом уровне. Это позволяет предотвращать перегрев или недостаточный нагрев, что является важным для систем преобразования тепла.

Отличительной чертой промышленных процессов, в том числе тех, которые связаны с преобразованием тепла, является то, что они в ходе своей работы подвержены воздействию случайных факторов. Это приводит к тому, что у системы появляется несколько стабильных состояний с заранее неизвестными переходными процессами, что способствует ограничению традиционных ПИД регуляторов. Поэтому возникает потребность в поиске более подходящих способов управления процессами.

Одним из возможных направлений в решении данного вопроса является разработка адаптивного ПИД регулятора, который может самостоятельно корректировать свои коэффициенты в ответ на изменение состояния системы, тем самым достигая высокой точности и стабильности управления.

### **Основы ПИД регулирования**

ПИД регулятор – это широко используемый тип регулятора в системах автоматического управления. Он состоит из трех различных компонентов управления: пропорциональный (P), интегральный (I) и дифференциальный (D). Каждый из этих коэффициентов по-своему влияет на процесс управления [2].

В общем виде формула для настройки регулятора выглядит следующим образом:

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de}{dt}.$$

Рассмотрим принцип работы коэффициентов ПИД регулятора и их влияние.

Пропорциональный коэффициент (P) реагирует на текущую ошибку, то есть на разницу между желаемым и контролируемым значением. Данный компонент умножает ошибку на пропорциональный коэффициент  $K_P$  для вычисле-

ния пропорциональной составляющей управляющего сигнала, тем самым управляя силой реакции на текущую ошибку.

Интегральный компонент (I) со временем накапливает ошибку и умножает её на интегральный коэффициент  $K_I$ , позволяет устранить постоянную ошибку в системе, но при этом может привести к перерегулированию, что приводит к колебаниям системы.

Дифференциальный коэффициент (D) реагирует на скорость изменения ошибки, умножая её на дифференциальный коэффициент  $K_D$ . Он служит для сглаживания реакции системы, что помогает предотвратить перерегулирование и колебания системы.

ПИД регуляторы получили большое распространение при решении задач управления за счет простоты своей конструкции, несложного математического аппарата и небольшой стоимости внедрения во многих простых системах. К недостаткам ПИД регулятора можно отнести отсутствие возможности адаптации к изменениям в динамике процесса. Также может быть неэффективен в сложных системах с большими задержками или нелинейностями, что может привести к перерегулированию и колебаниям.

Таким образом, для достижения желаемого баланса между скоростью реакции системы и её стабильностью, требуется оптимизация ПИД регулятора с тщательным подбором его параметров.

### **Методы оптимизации ПИД регулятора.**

Чтобы перейти к рассмотрению методов оптимизации ПИД регуляторов, познакомимся с методами настройки, которые позволяют определить оптимальные значения параметров регулятора. К таким методам можно отнести:

1. Метод Циглера – Никольса. Это один из самых известных методов, заключающийся в последовательном определении оптимальных коэффициентов регулятора. Изначально обнуляются все коэффициенты, после чего подбирается такое значение пропорционального коэффициента, что в системе возникают незатухающие колебания, при чем амплитуда их постоянна. Данная величина

называется критическое усиление. Следующим шагом, на основе критического усиления и периода колебаний, по эмпирическим формулам определяются коэффициенты  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$ .

2. Метод Чина – Хронеса. – Ресвика. Данный метод позволяет произвести простую и приближенную настройку коэффициентов. Для этого необходимо определить время задержки и время выравнивания, и по формулам к данному методу вычислить значения коэффициентов ПИД регулятора [3].

3. Аналитические методы (метод внутренней модели и лямбда настройка). Для использования данного метода необходима предварительная подготовка, заключающаяся в описании точной модели объекта управления и в выводе цели управления в аналитической форме. Это необходимо для получения требуемого качества регулирования. Результатом этого метода являются довольно простые формулы, которые можно применить в адаптивных системах [4].

4. Метод Коэна – Куна. В основе данного метода заложена аппроксимация объекта звеном третьего порядка, поэтому подбор коэффициентов ПИД регулятора производится таким образом, чтобы компенсировать влияние двух полюсов объекта. Если объекты описаны звеньями первого или второго порядка, то можно воспользоваться быстрым способом настройки по методу Куна. Для случая, когда объект описан звеном более высокого порядка, используется нормальный способ. Поэтому данный метод позволяет произвести более консервативную настройку, за счет использования различных формул, что может благоприятно сказываться для некоторых систем.

Отдельное внимание хочется уделить автонастройке ПИД регулятора. В основу автонастройки ПИД регулятора заложен метод Циглера – Никольса, который претерпел ряд изменений [1].

В вопросе автонастройки ПИД регулятора выделяется два основных подхода. Для первого подхода необходимо получение переходной характеристики объекта управления при ступенчатом воздействии с дальнейшим анализом данной характеристики. При использовании данного подхода есть ограничение,

связанное с величиной ступенчатого воздействия, которая должна быть достаточной величины для того, чтобы выделить составляющую переходного процесса при воздействии помех и внешних возмущений. В основе второго подхода заложено использование искусственно созданных автоколебаний в контуре управления. Их использование необходимо для определения критической точки [1].

Из-за того, что практически все объекты управления подвержены влиянию внешних факторов и сами обладают нестационарными во времени параметрами, то одноразовая настройка коэффициентов регулятора не позволит достичь требуемой цели управления на протяжении всего процесса регулирования. Поэтому целесообразно периодически корректировать коэффициенты регулятора в соответствии с настоящим состоянием управляемого объекта для достижения цели управления. Для этого предполагается использование, так называемого, адаптивного управления, которое заключается либо в постоянном, либо в периодическом изменении коэффициентов регулятора. Всего выделяют две группы адаптивных алгоритмов: прямые и непрямые. Прямые алгоритмы через анализ контролируемого параметра корректируют коэффициенты ПИД регулятора. Среди таких алгоритмов можно выделить целую подгруппу алгоритмов управления, которые в процессе функционирования опираются на правила настройки регулятора, тем самым происходит имитация действий наладчика. Особенность такой реализации заключается в постоянном поиске компромисса между наименьшим временем переходного процесса и запасами устойчивости объекта управления. При этом, часто для реализации адаптивного алгоритма прямого действия создаётся таблица состояний, где каждому возможному состоянию объекта соответствуют свои значения коэффициентов ПИД регулятора. Создание таких таблиц происходит в лабораторных и экспериментальных условиях на этапе разработки системы управления. Кроме этого, среди прямых алгоритмов адаптивного управления, можно выделить такие перспективные алгоритмы

как алгоритм итеративной градиентной настройки и алгоритм рекуррентных целевых неравенств.

Особенностью не прямых алгоритмов является использование идентификации модели объекта управления с последующей корректировкой на основе ее коэффициентов. Можно сказать, что не прямые алгоритмы адаптивного управления являются продолжением развития алгоритмов автоматической настройки. Как перспективный алгоритм непрямого адаптивного управления можно выделить частотное адаптивное управление. Использование таких алгоритмов, как уже отмечалось, эффективней традиционного ПИД регулятора за счет автоматической корректировки коэффициентов для каждого нестационарного состояния объекта управления. Этим достигается выполнение цели управления во всем временном промежутке функционирования объекта управления.

### **Разработка адаптивного ПИД регулятора**

Реализация адаптивного ПИД регулятора представляет собой более сложный процесс, чем реализация традиционного. В общем виде реализация адаптивного ПИД регулятора представлена следующими звеньями:

1) Идентификация модели процесса. Данное звено отвечает за сбор данных о поведении системы и создание математической модели, которая описывает динамику процесса.

2) Алгоритм адаптации. Данное звено необходимо для анализа в реальном времени полученных данных, после чего изменяет коэффициенты регулирования.

3) Механизмы обратной связи. Данное звено предоставляет информацию об объекте управления необходимое как для идентификации модели, так и для алгоритма адаптации.

Важно отметить, что результат работы адаптивного ПИД регулятора зависит не только от реализации алгоритмов, но и от самого объекта управления.

## **Заключение**

Адаптивные ПИД регуляторы требуют более сложной реализации по сравнению с традиционными, но возможность автоматической корректировки коэффициентов регулирования делает эти регуляторы привлекательным инструментом в современной автоматизации процессов управления. При этом постоянное развитие алгоритмов приводит к более точной настройке коэффициентов регулятора, что в свою очередь повышает качество регулирования. Можно предположить, что с дальнейшим развитием ПИД регуляторов они смогут найти применение в новых областях.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Александров А. Г. Состояние и перспективы развития адаптивных ПИД-регуляторов // Автоматика и телемеханика. – 2014. - № 2. – С. 16-30.
2. Бессекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. – Москва: Из-во «Наука», 1972. – 768 с.
3. Денисенко В. В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации // Современные Технологии Автоматизации. 2008. – №4 – С. 86-99.
4. Кузицин В. Ф. Система регулирования с ПИД-регулятором, автонастройкой и алгоритмом максимального быстродействия // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. – 2017. – Т. 10. – С. 14-18.

## **DEVELOPMENT OF ADAPTIVE PID REGULATOR FOR OPTIMIZATION OF CONTROL PROCESSES AT HEAT CONVERSION**

**KOLTSOV Vasily Igorevich**

student

**VOPRIKOV Anton Vladimirovich**

Ph. D., Associate Professor of the Department of Power Supply System

Far Eastern State Transport University

Khabarovsk, Russia

The article deals with the issues related to the development of theoretical issues in the field of development of adaptive PID regulator designed to optimize control processes, including control during heat conversion. Fundamentals and methods of tuning parameters of PID regulation, as well as principles of adaptive PID regulator are considered.

**Keywords:** PID regulation, automation, control object, automatic regulation system, adaptive control.