

## НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРОВ НЕЙТРАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ MATLAB

И. А. Тутов

Томский политехнический университет  
ivantutov@tpu.ru

Тема настройки ПИД-регуляторов довольно обширна. Существует множество работ посвященной этой проблематике. И, несмотря на то, что исследования по этой тематике ведутся уже довольно продолжительное время, методик однозначно определяющих эффективную настройку контура управления с ПИД-регулятором в настоящее время нет. Есть довольно убедительные наработки для практического применения в области линейных устойчивых систем, однако, если объект управления нейтрален, неустойчив, а тем более имеет нелинейность, то решение этой проблемы многократно усложняется и зачастую имеет исключительно индивидуальное или частное решение. Этот результат является следствием того, что все модификации ПИД-регуляторов «...были получены чисто эвристическим путём...» и что «...достаточно убедительное формальное доказательство целесообразности их применения ... до сих пор получить не удалось» [1]. Получить приемлемое для практических задач решение нейтральных или неустойчивых объектов управления с учетом нелинейностей возможно при использовании специализированных математических пакетов, выполняющих рутинные операции подбора коэффициентов регулятора, при которых обеспечиваются требуемые параметры качества переходного процесса. В данной работе далее будут рассмотрены несколько инструментов настройки коэффициентов ПИД-регулятора пакета прикладных программ MATLAB 2013a.

В качестве объекта управления используется нейтральный объект, представляющий собой внутренний распределительный трубопровод установки предварительной подготовки газа (УППГ) [2]. Задача состоит в управлении давлением в трубопроводе путем стравливания излишнего давления через задвижку. Задвижка накладывает ограничения на величину и скорость изменения управляющего воздействия. Упрощенная математическая модель в операторно-структурной форме представлена на рисунке 1.

Первым рассмотрим часто используемый на начальных этапах разработки настройки системы управления функциональный блок PID Controller из стандартной библиотеки компонентов Simulink. Блок этот находится в подразделе для работы с непрерывными сигналами. Ввиду того, что этот блок использует линеаризацию, то системы содержащие нелинейности в настраиваемом контуре им настроить прямо не удастся, о чём MATLAB сообщит выведя системное сообщение на экран монитора. Данный функциональный блок позволяет сравнительно просто в пару кликов настроить контур управления. Результат зачастую имеет небольшое перерегулирование. В некоторых ситуациях коэффициенты ПИД-регулятора, полученные в результате автонастройки, имеют разнознаковое значение. Не все реальные регуляторы, используемые в промышленности, позволяют вводить такие коэффициенты. Так же данный инструмент не позволяет учитывать ограничения на величины воздействий, что может привести к тому, что предложенные коэффициенты или результирующее управляющее воздействие на объект управления будут физически нереализуемы.

Далее рассмотрим инструмент настройки SI-SO систем. Вызывается из консоли командой `sisotool`. Он является значительно более продвинутым и гибким в настройке, позволяет производить настройку различными методами с учётом ограничений на скорость нарастания и величину сигналов. Структуру регулятора можно выбрать из списка или задать самостоятельно вручную. Указывать диапазон возможных значений коэффициентов. Воспользуемся автоматической настройкой, в качестве метода настройки – `Optimization based tuning`. После задания ограничений можно запустить процесс оптимизации. Наиболее хорошие результаты (отсутствие перерегулирования, минимальное время переходного процесса с учётом ограничений) были получены методом `Gradient descent` по алгоритму `Active-Set` и представлены на рисунке 2.

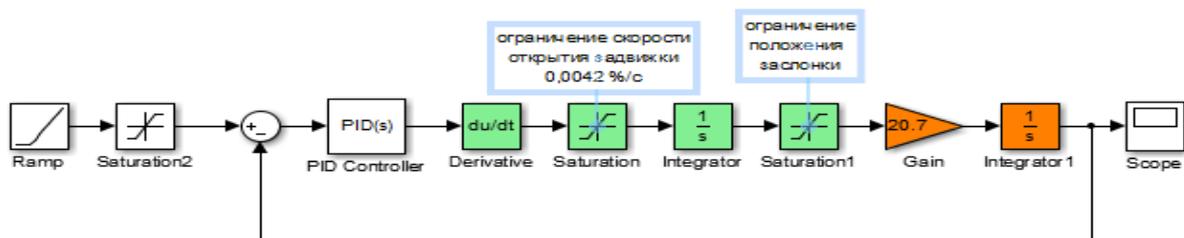


Рисунок 1. Контур управления анализируемой системы

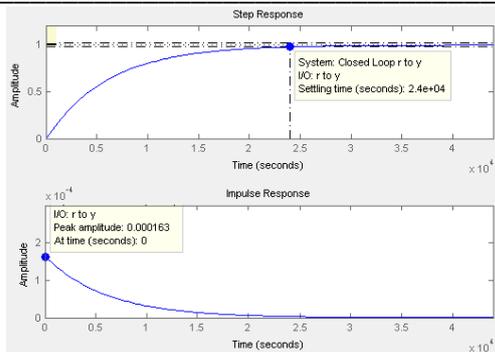


Рисунок 2. Результат настройки SISOtool

В заключение рассмотрим инструмент Check Step Response Characteristics, находящийся в подразделе Simulink Design Optimization библиотеки Simulink. Он перетаскивается на операторно-структурную схему. Для настройки необходимо создать в рабочем пространстве Workspace переменные и указать их в необходимых блоках (см. рис.3, коэффициенты P,I и D).



Рисунок 3. Модель системы с ПИД регулятором

Далее двойным кликом на рассматриваемом инструменте зайдём в настройки. В качестве варьируемых переменных укажем нужные нам переменные из Workspace. Указателем мыши устанавливаем ограничения или вводим их в соответствующую форму с клавиатуры. Наиболее эффективным для нашего случая оказался метод Gradient descent по алгоритму Sequential Quadratic Programming. Результат оптимизации представлен на рисунке

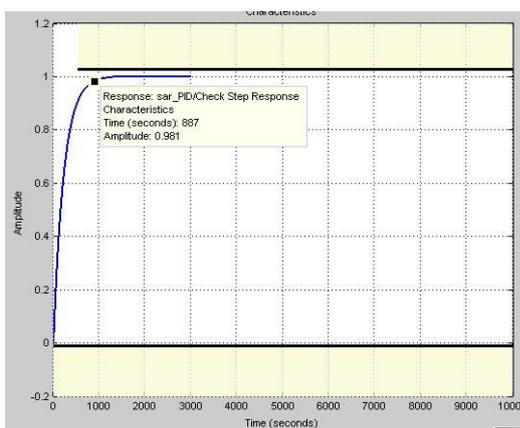


Рисунок 4. Результат настройки Check Step Response Characteristics

Преимуществом данного метода является то, что он не использует линеаризованную модель для настройки, в отличие от предыдущего инструмента, а обращается непосредственно к модели в Simulink. К недостаткам можно отнести невозможность задания ограничений по скорости нарастания сигнала.

### Заключение

Пакет MATLAB обладает мощными инструментами настройки, позволяющими избежать разработчика от рутинных операций расчёта и/или подбора коэффициентов регуляторов в контуре управления. Однако данный инструмент требует от проектировщика обширных знаний в области методов вычислительной математики и теории оптимизации систем, ведь метод и алгоритм настройки выбирает сам проектировщик. Настройки, установленные по умолчанию, не всегда могут разрешить проблему.

Наиболее эффективным из рассмотренных

инструментов для решения задачи настройки регулятора управления нейтральным объектом по критериям отсутствия перерегулирования, минимального времени регулирования, минимальной интегральной квадратичной ошибки от рассогласования уставки и величиной управляемой переменной, является Check Step Response Characteristics.

### Литература

1. Ротач В. Я. Теория автоматического управления: учеб. для вузов / В. Я. Ротач – М.: Изд-во МЭИ, 2004 г.
2. Тутов И. А. Система автоматического регулирования давления внутрипромысловой газораспределительной сети. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013 - № 11(58) – т. 1. – с. 118-121.
3. Официальный сайт компании MathWorks [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mathworks.com/help/sldo/examples.html> - свободный.
4. Интегрированная справка пакета прикладных программ MATLAB.