

Автоматизированная идентификация и управление тепловым процессом

Доманов А.Т.; Хаджинов М.К.

Кафедра систем управления
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
e-mail: kh_m@tut.by

Аннотация—Рассматривается задача идентификации и составления математической модели процесса в термостате совместно с задачей управления. Решается задача управления с прогнозирующим наблюдателем, оценивающим возмущения.

Ключевые слова: термодинамический процесс; упрощенная модель; прогнозирующий наблюдатель; компенсация возмущений

ВВЕДЕНИЕ

Для современной термометрии [1] характерна тенденция к повышению точности поддержания рабочих температур термостатов, предназначенных для поверки методом сличения образцовых ртутных термометров, термопар и термометров сопротивления. Ошибка поддержания температуры термометрической жидкости, как правило, не должна превышать 0,001 градуса. Обеспечить столь высокие требования крайне сложно. Сказываются внешние возмущения термодинамического равновесия жидкости с достаточно сложными и неопределёнными процессами. В таких условиях регулирование удаётся улучшить за счёт использования модели процесса в системе управления [2]. В работе предлагается использовать упрощенную модель, отражающую лишь важные закономерности процессов в термостате, алгоритм регулирования с прогнозирующим наблюдателем с дополнительной оценкой и компенсацией возмущений.

СВЯЗЬ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

Выделение объекта моделирования из окружающей среды задаёт границу точного и приближенного описания процессов. Внешние возмущения объекта окружающей средой описываются приближённо. Если сравнивать модели управляемого и неуправляемого процессов, то границу возмущений для неуправляемого процесса придётся устанавливать шире.

Моделирование и идентификация производятся под определённую цель. Составление «бесцелевой» модели на все случаи жизни если не бессмысленно, то мало продуктивно. Решая задачу проектирования регулятора, нет смысла идентифицировать тонкие структуры модели, если в соответствии с методикой расчёта они не будут использованы.

Идентификация тепловых процессов обычно производится по временным характеристикам (переходной и импульсной переходной), так как частотные характеристики снять проблематично.

Идентификацию целесообразно производить наложением экспериментальных характеристик на модельные и сравнивать графики процессов, ошибок, разности ошибок.

Динамическая модель обычно создаётся с целью моделирования процессов управления. Поэтому её совпадение с реальным объектом желательно: для частотных характеристик – вблизи частоты среза будущего контура управления, для переходных характеристик – в течение длительности переходной характеристики будущего контура управления. Несовпадение начала и окончания переходных характеристик модели и объекта (частотных характеристик на очень высоких и очень низких частотах) не являются дефектом модели при её целевом использовании, при проектировании системы управления. Динамическая модель может отличаться по статике от неуправляемых реальных процессов.

Как это ни покажется странным, но сложность и точность математической модели динамики объекта будет зависеть от типа предполагаемого для управления регулятора. Если регулятор предполагается разместить в прямой цепи, то для качественного управления необходимо точное воспроизведение частотной характеристики вблизи частоты среза будущего контура регулирования. Если предполагается использование двухконтурной системы управления с регулятором в обратной связи, обычно отсекающим ЛАХ объекта в низкочастотной и среднечастотной части, то отсекаемые части могут воспроизводиться более чем приближённо. Параметры процесса управления будут зависеть в подавляющей степени от обратной связи и чрезвычайно мало от регулируемого объекта. Требуется лишь сохранение устойчивости контура обратных связей. Поэтому бывает достаточно в модели воспроизвести ЛАХ объекта на частотах больше его частоты среза и как-то учесть инерционности на высоких частотах. Поэтому весьма разумная модель объекта управления может состоять из цепочки интеграторов с коэффициентом, обеспечивающим совпадение частоты среза, и одной инерционности как суммы малых постоянных времени.

Достаточно совпадения характеристик модели и объекта на разгонной части переходной характеристики, по которой и определяют параметры модели при идентификации.

Порядок модели процесса следует выбирать в соответствии со сложностью предполагаемого закона управления тепловым процессом. Так ПИД-регулятором компенсируется две постоянные времени объекта, и создание более точной модели с числом постоянных времени больше трёх не даст никаких преимуществ

УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМ ПРОЦЕССОМ

ПИД-регулятору, традиционно используемому для управления тепловыми процессами, свойственны недостатки. Главный из них - колебательный характер переходных процессов в большом из-за естественных ограничений канала управления. Обычно в таком режиме интегральную составляющую блокируют и тем самым переводят в ПД-регулятор. Логическое устройство определяющее начало и выход из блокирования требует настройки и неизбежно возмущает процесс регулирования, добавляя свои переходные процессы.

При настройке регуляторов необходимо учитывать различие инерционности и чистого запаздывания объекта и применять различные способы компенсации их в законе управления. Так настройку регуляторов с нулями (ПИД) следует производить на точную компенсацию инерционности объекта, но не чистого запаздывания. Происходит затягивание процессов управления, как при недостаточной, так и при чрезмерной компенсации инерционности.

Закон управления выбираем исходя из обеспечения астатизма 1-го порядка по управлению. Завышенный порядок астатизма по управлению ухудшает характер переходных характеристик.

Для компенсации возмущений не следует вводить интеграторы в цепь сигнала ошибки во избежание получения гистерезисных характеристик из-за естественных ограничений. Целесообразно производить оценивание возмущений, т.е. вводить интегратор в цепь сигнала ошибки оценивания, где отсутствуют сигналы управления. Тем самым избегать создания гистерезисных характеристик в канале управления, неизбежно провоцирующих возникновение режима автоколебаний при резком управлении.

При использовании модального регулятора с прогнозирующим наблюдателем трансформировать модель объекта с выделением быстрой зоны (без чистого запаздывания) для формирования управления и медленной зоны (с чистым запаздыванием) для оценивания состояния объекта и внешних возмущений.

В прогнозирующем наблюдателе предлагается использовать упрощенную модель теплового процесса в виде аperiодического, интегрирующего и запаздывающего звеньев, идентифицированную по отрезку разгонной части переходной характеристики. В качестве регулятора наблюдателя можно применить ПИД-регулятор, причём сигнал интегральной составляющей, фактически оценивающей возмущения, использовать как компенсирующий сигнал.

Была составлена достаточно точная модель теплового процесса в термостате (нелинейная, пятого порядка, с чистым запаздыванием) и нагревателя с учётом цифрового управления им. Модель приведена на рис. 1 в его верхней части в виде тонированных (зелёных и голубых) блоков. В нижней – изображены тонированные (малиновые) блоки упрощенной модели объекта в наблюдателе.

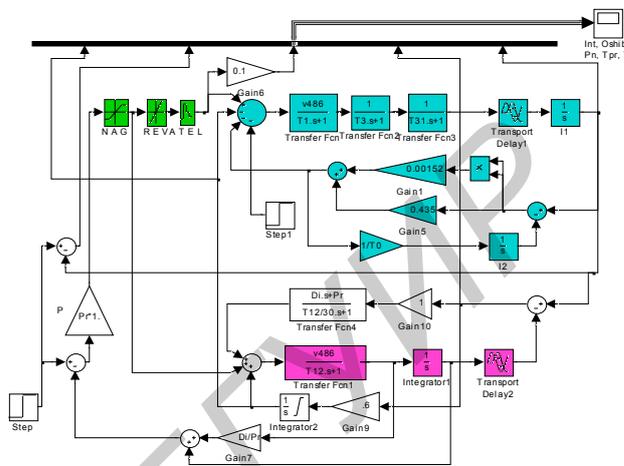


Рис. 1. Схема моделирования

Результаты моделирования процессов по управлению и возмущению приведены на рис. 2.

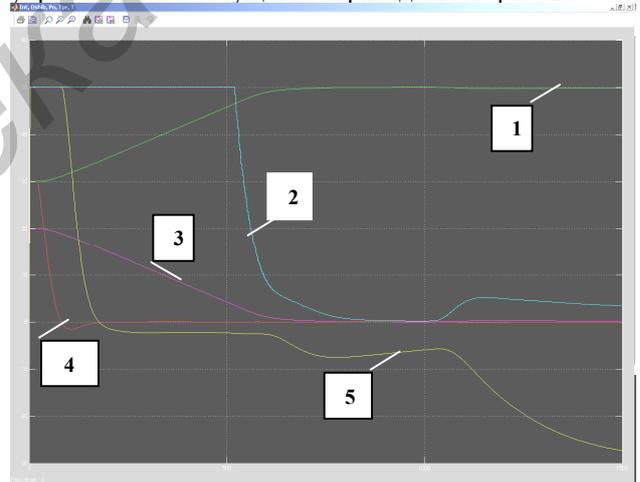


Рис. 2. Процессы управления и компенсации возмущения в термостате.

На рисунке изображены графики изменения температуры (кривая 1), мощности нагревателя (кривая 2), ошибок регулятора (кривая 3) и наблюдателя (кривая 4), интегральной составляющей регулятора наблюдателя (кривая 5). Возмущение, подаваемое на вход модели термостата при $t = 1000$ с, успешно парируется. Результаты компьютерного моделирования подтверждают обоснованность принятых решений.

- [1] Куин Т. Температура: пер.с англ. / Под ред. Д.М. Астрова, – М.; Мир. !985.
- [2] Справочник по теории автоматического управления. / Под ред. А.А.Красовского. – М.; Наука, Гл.ред. физ-мат. лит. 1987.