

КАСКАДНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ «УМНОГО ДОМА»

С.И. Поляков¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова»

В статье рассмотрены вопросы моделирования и управления системами отопления жилого дома. Рассматривается выбор и обоснование способа управления отопительной системой при каскадном управлении температурой. Получены результаты, подтверждающие достижимость предлагаемых структурных изменений. Приводятся результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: отопление, каскад, температура, расход газа, переходный процесс.

CASCADE CONTROL OF THE HEATING SYSTEM «SMART HOME»

S.I. Polyakov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The article deals with the issues of modeling and management of residential building heating systems. The choice and justification of the method of controlling the heating system with cascade temperature control is considered. The results confirming the achievability of the proposed structural changes are obtained. The results of experimental studies are presented.

Keywords: heating, cascade, temperature, gas flow, transient.

В современном жилом доме функции управления многогранны и должны реализовываться в соответствии с параметрами качества управления. По условиям технологии это требует исследования отопительной системы (ОС) как объекта управления, отличающегося высокой инерционностью [1].

В простейшем случае для высокоинерционных тепловых объектов задача может быть решена следующим образом.

Поскольку тепловые объекты, к которым относится ОС, характеризуются значительными инерционностью и запаздыванием (десятки и сотни минут), в однокритериальных системах, как известно, достаточно сложно обеспечить удовлетворительную динамику.

Одна из возможностей улучшения динамики предполагает усложнение закона регулирования. Однако такой путь представляется как малоэффективный, поскольку номенклатура типовых законов регулирования относительно невелика и нет смысла ее увеличивать как по технико-экономическим, так и по эксплуатационным соображениям.

Кроме этого, улучшение динамики может быть связано с изменением функциональной и структурной схемы системы автоматизации ОС с использованием небольшого числа типовых законов регулирования. Этот способ представляется преимущественным для использования на практике.

Идею каскадного управления рассмотрим применительно к ОС, как реальному объекту с последующим обобщением.

На практике под воздействием внешних возмущений температура в помещении может значительно изменяться, что приведет к колебаниям температуры воздуха. Для управления температурой можно применить простейшую одноконтурную систему стабилизации [2].

При этом под регулирующим воздействием понимают расход газа.

Поскольку инерционность объекта по каналу «расход газа – температура воздуха» значительна, динамика такой одноконтурной системы будет неудовлетворительной. Это подтверждается результатами практических исследований. Однако динамику подобной системы можно существенно улучшить, переходя к не одноконтурным системам регулирования. Для этого в объекте выделим некоторую промежуточную величину, поддающуюся измерению. И эту величину необходимо стабилизировать дополнительным регулятором. В данном объекте ОС в качестве промежуточной величины удобно выбрать температуру воды (t) после смесителя, поскольку эта величина достаточно быстро отклоняется на такое возмущение, как изменение расхода газа, которое очевидно влияет и на температуру воздуха в помещении [3].

С учетом сказанного придем к системе, в которой:

1) возмущение, поступающее на тепловой объект со стороны расхода газа и влияющее на температуру воздуха, подавляется внутренним регулятором температуры воды;

2) возмущение, поступающее на объект со стороны окружающей среды, подавляется внешним регулятором температуры воздуха через внутренний регулятор температуры воды. Такое построение существенно улучшает динамику системы в целом, поскольку объект как бы расчленяется на отдельные части с более предпочтительной динамикой.

Для управления ОС введем специальную терминологию:

Внутренний регулятор температуры воды предполагается называть стабилизирующим, а внешний регулятор температуры воздуха – корректирующим.

Расчетная структурная схема, соответствующая неодаконтурному управлению, приведена на рисунке 1.

Для расчета системы необходимо знать динамику объекта по разным каналам. Первый канал: расход газа – температура воздуха ($W_{об1}(p)$) и второй канал: расход газа – температура воды ($W_{об2}(p)$).

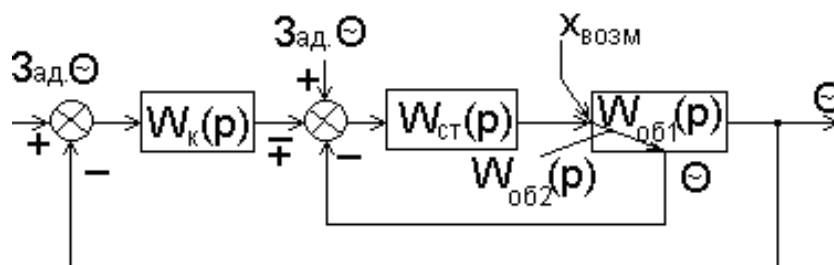


Рисунок 1 – Расчетная структурная схема каскадного управления температурой

После того, как выбраны законы регулирования для стабилизирующего и корректирующего регуляторов температуры, осуществляют расчет настроек этих регуляторов. Поскольку в системе два регулятора, и каждый из них влияет на динамику, расчет настроек резко усложняется.

Методика расчета настроек регуляторов заключается в следующем:

- САУ устойчива, если модуль комплексной АЧХ $W(\omega)$ разомкнутой САУ при изменении частоты ω пересекает уровень $W(\omega) = 1$ при меньшем значении ω , чем ФЧХ $F(\omega)$ пересекает уровень $F(\omega) = -180^0(-\pi)$;

- динамические свойства САУ определяются главным образом участками АЧХ и ФЧХ вблизи частоты среза ω_c - частоты, на которой АЧХ $W(\omega)$ достигает значения $W(\omega_c) = 1$;

- с ростом частоты ω_c увеличивается быстродействие САУ (уменьшается время регулирования T), при этом значения ω_c и T связаны приближенным соотношением

$$T = (2 \div 4)\pi / \omega_c ;$$

- в правильно спроектированной САУ АЧХ $W(\omega)$ должна убывать в зависимости от ω вблизи частоты ω_c обратно пропорционально первой степени частоты

$$W(\omega) \cong 1 / \omega ,$$

или то же самое, со скоростью -20дБ/дек ; протяженность интервала изменения ω , для которого выполняется данное условие, должна быть не менее одной декады;

- для обеспечения величины перерегулирования $D \leq (10 \div 30)\%$ необходимо иметь запас по фазе F_0 на частоте ω_c не менее $(30 \div 50)^\circ$, а также запас по амплитуде не менее 20дБ .

Оценка параметров качества САУ с различными типами регуляторов осуществляется следующим образом. В структурную схему заданной САУ включается оцениваемый регулятор (П, ПИ или ПИД). Оценивается запас по фазе F_0 , необходимый для обеспечения перерегулирования, не превосходящего заданного значения D . Для САУ с активной обратной связью величина F_0 может быть рассчитана по эмпирической формуле

$$F_0 = 0,82 \cdot (82 - D) ,$$

а для САУ с комплексной обратной связью по формуле

$$F_0 = 0,535 \cdot (126 - D) ,$$

где F_0 в градусах, а D в процентах.

Далее находится частота среза ω_c как частота, на которой запас по фазе равен F_0 . Для этого надо решить относительно ω уравнение

$$F(\omega) = F_0 - 180^\circ .$$

В общем виде решение данного уравнения можно представить графически. Для этого необходимо построить графики $W(\omega)$ и $F(\omega)$ (рисунок 2).

Далее, откладывая по оси ординат графика $F(\omega)$ угол, равный $F_0 - 180^\circ$, находим точку "а" на графике $F(\omega)$. Абсцисса ω , соответствующая этой точке, и есть частота среза ω_c , необходимая для обеспечения запаса по фазе F_0 и, следовательно, для обеспечения допустимого перерегулирования D .

Затем находится точка "b" на графике $W(\omega)$ и по шкале оси ординат графика $W(\omega)$ находится фактическое значение коэффициента передачи $W(\omega_c)$ разомкнутой САУ на найденной частоте среза ω_c . Последовательность графич-

ческого решения показана на рисунке 2 стрелками. Требуемое значение коэффициента передачи регулятора k_1 рассчитывается по формуле

$$k_1 = 1/W(\omega_c).$$

С учетом k_1 график АЧХ САУ с регулятором пройдет, как показано на рисунке 2, пунктиром (через точку "с").

После нахождения ω_c и k_1 выполняется оценка параметров качества регулирования.

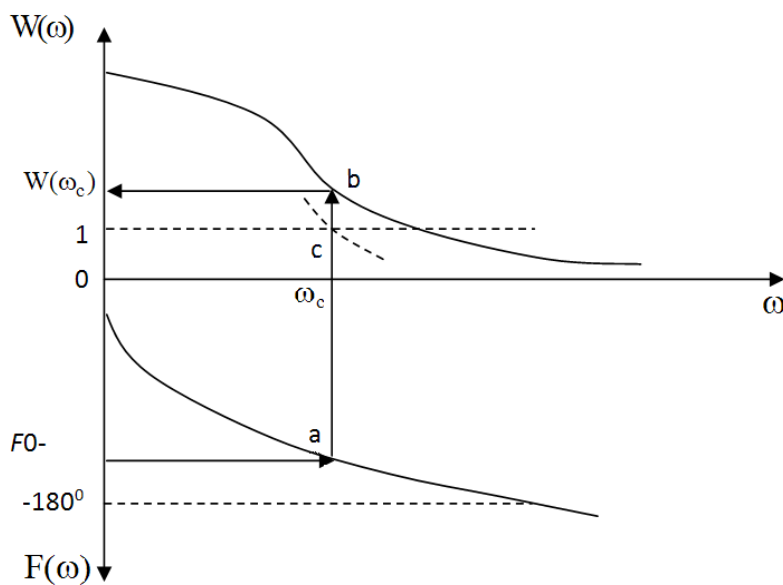


Рисунок 2 – Графическое решение задачи определения ω_c и k_1

Выбор постоянных времени регуляторов, более сложных, чем простейший регулятор П - типа, преследует цель улучшить параметры качества регулирования, обеспечиваемые САУ. Для увеличения быстродействия САУ в случаях использования ПД - и ПИ - регуляторов используют следующие методы выбора постоянной времени регулятора T_1 :

1) $T_1 = \sqrt{\sum_j T_j^2}$, где T_j – постоянные времени всех динамических звеньев

САУ, за исключением регулятора;

2) $T_1 = \max_j T_j$ (T_1 выбирают равной максимальной постоянной времени в

САУ) [4].

Для ПИД - регулятора необходимо выбрать две постоянные времени – T_1 и T_3 . Значительного улучшения быстродействия САУ можно добиться, если выбрать в качестве их значений наибольшие значения постоянных времени заданной САУ. При этом $T_1 > T_3$.

Передаточная функция объекта ОС имеет следующий вид:

$$W_o(p) = \frac{T_5 p^2 + T_4 p + k_0}{T_3 p^3 + T_2 p^2 + T_1 p + 1}.$$

Амплитудно-фазовую характеристику объекта можно найти из следующей формулы:

$$|W_o(jw)| = \sqrt{Re^2(w) + Im^2(w)}.$$

Запишем передаточные функции для замкнутой системы с ПИ – и с ПИД – регулятором соответственно:

$$W_p(p) = Kp + \frac{1}{T_u p};$$

$$W_p(p) = Kp + \frac{1}{T_u p} + T_g p.$$

Построим переходные процессы функций, изобразим графики этих процессов для ПИ - и ПИД - регуляторов на рисунках 3 и 4 соответственно.

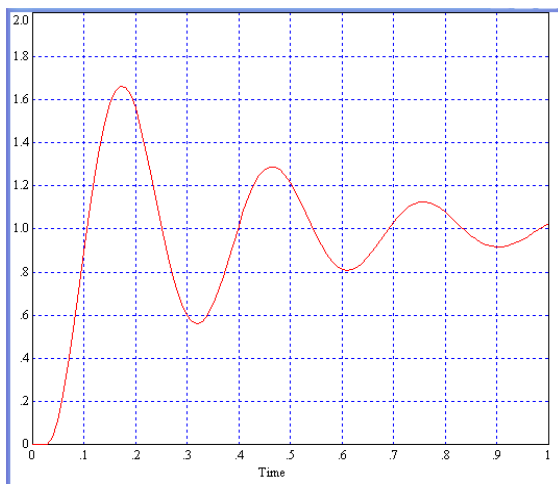


Рисунок 3 – Переходный процесс в замкнутой САУ с ПИ-регулятором

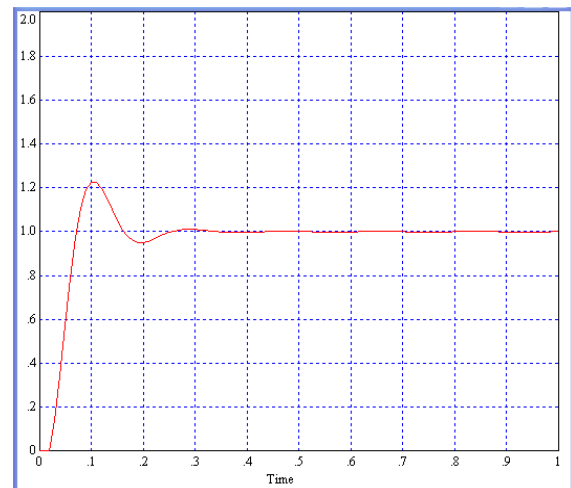


Рисунок 4 – Переходный процесс в замкнутой САУ с ПИД-регулятором

Представленные переходные характеристики ОС в соответствии с предлагаемой методикой расчёта настроек регуляторов позволят провести раздельное регулирование по двухконтурной схеме с компенсацией статической погрешности П – регулятора одного из контуров и уменьшением времени регулирования ПИД – регулятором второго контура [4, 5].

Список литературы

1. Поляков, С.И. Моделирование системы управления отоплением «умного» жилого дома / С.И. Поляков, В.И. Акимов, А.В. Полуказаков // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 68-76.

2. Сазонова, С.А. Особенности решения задач управления функционированием системами теплоснабжения / С.А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 67-73.

3. Сазонова С.А. Особенности формирования обобщенной модели управления системами теплоснабжения / С.А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 73-80.

4. Сазонова С.А. Особенности формулировки прикладных задач управления функционированием системами теплоснабжения / С.А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 80-88.

5. Сазонова, С.А. Математическое моделирование параметрического резерва систем теплоснабжения с целью обеспечения безопасности при эксплуатации / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, А.В. Звягинцева // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 71-77.