

АНАЛИЗ КАСКАДНОЙ И НЕЧЕТКОЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

В системах кондиционирования воздуха (СКВ) имеют место две группы возмущающих воздействий $f(\tau)$: внешние и внутренние. Внешние возмущения $f_n(\tau)$, определяемые изменениями состояния атмосферы, значениями параметров температуры и влажности воздуха, давлением, полем ветров, солнечной радиацией и т.д., приводят к отклонениям в работе теплообменных аппаратов, устройств, тепловыделений и теплопотерь в обслуживаемых помещениях [1]. Внутренние возмущающие воздействия $f_{вн}(\tau)$ наблюдаются при наличии технологических, бытовых выделений, электромагнитного излучения, потерь тепла и влаги (человеческий фактор) и т.д. При этом ряд возмущающих факторов может иметь характер неопределенности, т.е. появляться и исчезать в разные моменты времени и изменяться по произвольному закону, что приводит к затруднению в поисках оптимального алгоритма управления СКВ.

Устойчивость и качество стабилизации в любой системе автоматического регулирования в первую очередь определяется соотношением параметров объекта регулирования и характеристик регулятора. Поэтому иногда качество системы стабилизации можно улучшить с помощью сравнительно небольших усовершенствований в управляемой части системы. Так, использование в качестве исполнительного устройства воздушного клапана в обводном канале приточной камеры вместо регулирующего клапана на трубопроводе теплоносителя приводит к значительному уменьшению постоянной времени объекта. Однако изменение структуры или параметров управляемой части системы не всегда бывает возможным по технологическим или каким-либо другим соображениям. В таком случае следует переходить от одноконтурных к более сложным схемам регулирования, например, с использованием дополнительных регуляторов и контуров автоматического регулирования.

Простейшим способом совершенствования системы является использование двух регуляторов, включенных по каскадной схеме. При этом вместо одного контура автоматической стабилизации выходной переменной работают два контура стабилизации: один – той же выходной переменной, другой – промежуточной переменной состояния.

Использование каскадных схем в системах автоматического регу-

лирования СКВ впервые было проанализировано М.Б. Халамейзером [1]. При этом было показано преимущество этого способа совершенствования одномерных систем автоматического регулирования температуры или влажности воздуха в обслуживаемом помещении. Каскадные схемы автоматической стабилизации получили широкое распространение в системах кондиционирования воздуха за рубежом. Например, каскадные схемы, реализованные фирмой Kessler + Lush GmbH (ФРГ), хорошо зарекомендовали себя в системах управления СКВ аэровокзала Шереметьево-2 [1].

Применение каскадных схем регулирования позволяет получить более высокое качество переходного процесса автоматической стабилизации в широком диапазоне возмущений, приложенных в различных точках системы. В случае, когда имеются возмущения на входе управляемой части системы, например, изменение параметров наружного воздуха, вспомогательный регулятор вырабатывает регулирующее воздействие еще до того, как на выходе системы появится соответствующее отклонение стабилизируемой переменной. При этом ошибка стабилизации может быть уменьшена в десятки раз по сравнению с ошибкой в одноконтурной САР [2]. При возмущениях, приложенных к звеньям управляемой части системы, неохваченным обратной связью вспомогательного регулятора, например при изменении тепловых или влаговыделений в обслуживаемом помещении, конечная ошибка стабилизации температуры или влажности уменьшается в несколько раз.

Параметры воздуха в обслуживаемом помещении являются наблюдаемыми для главного регулятора. Обратная связь этого регулятора образует внешний контур автоматической стабилизации. Каскадные схемы регулирования температуры воздуха в обслуживаемом помещении в холодный период года приведены на рис. 1. На вход главного регулятора P_r подается сигнал измеренного текущего значения температуры воздуха в обслуживаемом помещении (ОП) $t_{p.3}$ на этом же регуляторе устанавливается заданное значение температуры воздуха в помещении $t_{p.3.3}$. На выходе главного регулятора формируется по пропорционально-интегральному закону непрерывный сигнал $t_{п.3}(\tau)$, являющийся функцией отклонения текущего значения температуры воздуха в помещении от ее заданного значения $\Delta t_{3.3}$. Сигнал $t_{п.3}(\tau)$ подается на один из входов вспомогательного регулятора P_v . На другой вход этого регулятора подается сигнал измеренного текущего значения температуры воздуха на выходе из воздухонагревателя (ВН), т.е. температуры приточного воздуха $t_{п.}$. На выходе вспомогательного регулятора формируется сигнал управления $U(\tau)$, являющийся функцией отклонения $\Delta t_{п}$ текущего значения температуры приточного воздуха

от ее заданного значения. Сигнал управления $U(\tau)$ подается на вход исполнительного устройства и далее в виде регулирующего воздействия $r(\tau)$ на вход воздухонагревателя.

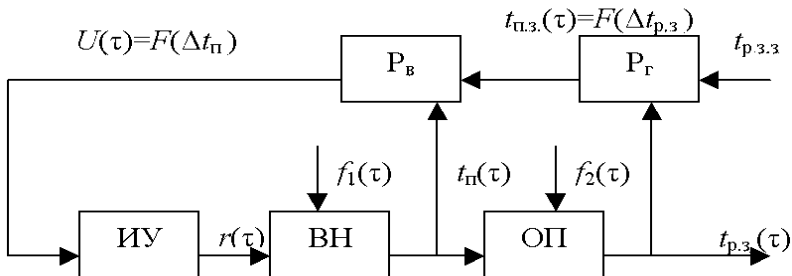


Рис. 1. Каскадная схема регулирования температуры воздуха в обслуживаемом помещении: P_{Γ} – регулятор главный; $P_{\text{в}}$ – регулятор вспомогательный; ИУ – исполнительное устройство; ВН – воздухонагреватель; ОП – обслуживаемое помещение

В зависимости от типа воздухонагревателя (водовоздушный теплообменник или электрокалорифер), а также от способа изменения теплопроизводительности в качестве исполнительного устройства могут использоваться воздушный клапан или клапан на трубопроводе теплоносителя с исполнительным механизмом, устройство регулирования частоты вращения электродвигателя вентилятора или насоса, устройство регулирования мощности электрокалорифера и т.д.

В рассматриваемой системе (см. рис. 1) могут быть возмущения, воздействующие как на воздухонагреватель $f_1(\tau)$, так и на температурный режим обслуживаемого помещения (ОП) $f_2(\tau)$. В качестве возмущающих воздействий на воздухонагреватель могут рассматриваться: изменение температуры наружного воздуха, изменение количества нагреваемого воздуха, изменение температуры или скорости перемещения теплоносителя, изменение напряжения питания электрокалорифера и т.д. При изменении величины любого из перечисленных воздействий изменяется температура воздуха на выходе из теплообменника. Величина и время отклонения температуры определяются параметрами воздухонагревателя. Характер переходного процесса по $t_{п.}$ определяется параметрами внутреннего контура автоматической стабилизации.

Возникающие отклонения температуры приточного воздуха $\Delta t_{п.}$ компенсируются регулирующим воздействием, формируемым по внутреннему контуру автоматической стабилизации. При этом откло-

нения температуры воздуха в обслуживаемом помещении будут значительно меньшими, чем Δt_n , благодаря теплопоглощающим свойствам всех поверхностей в помещении [1].

При отсутствии внутреннего контура стабилизации t_n формирование регулирующего воздействия $r(\tau)$ было бы более замедленным из-за инерционных характеристик помещения, а время отклонения было бы гораздо большим, чем при каскадном регулировании.

В качестве возмущающих воздействий $f_2(\tau)$ на температурный режим помещения могут рассматриваться изменение температуры наружного воздуха, а также изменение поступлений и стоков тепла в помещении. Начальный эффект такого возмущения обнаруживается по каналу обратной связи внешнего контура автоматической стабилизации. Регулирующее воздействие по каналу $\Delta t_{p,3}$ формируется с инерционностью, определяемой воздухонагревателем. При этом величина отклонения $\Delta t_{p,3}$ может быть лишь немногим меньше, в одноконтурной системе. Однако время отклонения $\Delta t_{p,3}$ при использовании каскадной схемы всегда меньше, так как внутренний контур уменьшает инерционность системы.

Применение каскадных схем регулирования наиболее эффективно тогда, когда внутренний контур стабилизации обладает большим быстродействием, чем внешний, и когда основные возмущения приложены к звеньям внутреннего контура. Поэтому при автоматизации приточных камер с использованием в качестве воздухонагревателей электрокалориферов целесообразно применять именно каскадные схемы регулирования. Преимущество каскадного способа регулирования перед одноконтурным очевидно и в случаях автоматизации приточных камер с использованием водовоздушных теплообменников. При регулировании их теплопроизводительности путем изменения расхода теплоносителя стабилизация расхода почти полностью исключает возмущения, связанные с изменением температуры воздуха и теплоносителя. При этом отклонения по температуре приточного воздуха оказывают весьма малое влияние на температуру воздуха в обслуживаемом помещении [1].

В отличие от систем вентиляции в системах кондиционирования воздуха управляемая часть представляет собой объект из двух и более последовательных звеньев. Например, имеются такие режимы работы СКВ, когда на кондиционере последовательно производятся нагрев воздуха в теплообменнике, адиабатная или политропная обработка в камере орошения и затем второй нагрев. В качестве промежуточной стабилизируемой переменной в этом случае может быть принята не только температура точки росы, но и температура или влажность приточного воздуха.

Выбор схемы автоматизации связан с анализом кратковременных изменений режимов работы систем кондиционирования и определяется динамическими свойствами системы и предъявляемыми требованиями по точности регулирования, быстродействию и другим показателям [2].

По динамическим свойствам системы кондиционирования и обслуживаемые ими помещения относятся к объектам с распределенными параметрами, нестационарные процессы, в которых описываются дифференциальными уравнениями в частных производных. Аналитическое решение таких уравнений трудно, поэтому для инженерных расчетов пользуются упрощенными зависимостями, полностью справедливыми только для объектов с сосредоточенными параметрами.

Для больших производственных помещений с многоплановой технологией производят разбивку объема помещения на зоны для организации зонных режимов работы по регулированию и управлению тепловым режимом. Элементы систем кондиционирования воздуха рассматриваются как инерционные объекты, работающие с запаздыванием.

Функциональная схема каскадной системы стабилизации непрерывного действия для прямооточной СКВ показана на рис. 2. Стабилизация параметров воздуха и влажности осуществляется с помощью двух регуляторов TC_1 и MC_1 .

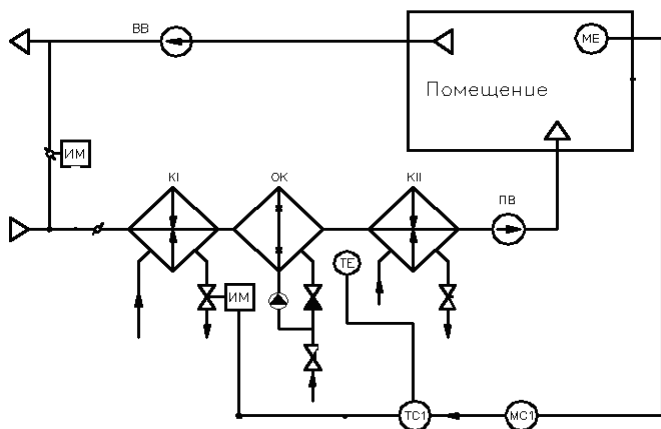


Рис. 2. Каскадная система регулирования СКВ: МЕ – датчик влажности; ВВ – вытяжной вентилятор; ИМ – исполнительный механизм; КI – воздухонагреватель первого подогрева; ОК – оросительная камера; ТЕ – датчик температуры; КII – воздухоподогреватель второго подогрева; ПВ – приточный вентилятор

Система обеспечивает стабилизацию температуры воздуха после воздухоподогревателя второго подогрева КП с коррекцией по температуре воздуха в объекте регулирования (помещении) путем изменения расхода теплоносителя в воздухонагревателе КИ (регулятор TC_1). Корректирующее воздействие осуществляется с помощью корректирующего регулятора влажности MC_1 . Таким образом, система регулирования температуры воздуха после воздухонагревателя второго подогрева включает цепь регулирования температуры воздуха путем изменения расхода теплоносителя и цепь коррекции, изменяющую задание регулятора TC_1 в зависимости от изменения влажности воздуха, датчик которого установлен в помещении.

Однако, наряду с достоинствами, каскадные системы обладают и рядом недостатков. Одним из них является сложность настройки такой системы и отсутствием методик по расчету настроек для главного и вспомогательного ПИ – регуляторов. Также можно отметить, что при изменении значений параметров объекта выбранные настройки не удовлетворяют качеству переходного процесса.

Исходя из вышеизложенного, предлагается использовать нечеткую систему регулирования с одним фаззи-контроллером и вводом в него информации по двум каналам: с выхода объекта; из промежуточной точки объекта.

Такое управление является наиболее совершенным. Система с нечетким микропроцессором реализует оптимальное (программированное) управление по нечеткой модели и рационально использует все возможности системы. Данные системы с высокой точностью поддерживают регулируемые параметры на заданном уровне [3 – 5].

При разработке нечеткой модели определены нечеткие множества ошибки $e(t)$, скорости ее изменения $e'(t)$ и управляющего воздействия $u(t)$, вышеуказанные нечеткие множества описаны с помощью лингвистического языка, где лингвистические переменные (ЛП) следующие: (NB – негативно большое, NS – негативно среднее, NM – негативно малое, Z – нулевое, PS – положительно среднее, PM – положительно малое, PB – положительно большое) [4]. Продукционная база правил вида: ЕСЛИ $e(t) = NS$ И $e'(t) = Z$ ТО $u(t) = NM$ представлена в виде табл. 1.

Для апробации предложенной нечеткой каскадной системы управления СКВ и проведения анализа эффективности её работы по сравнению с традиционной, состоящей из двух последовательно включенных ПИ – регуляторов, были проведены виртуальные эксперименты в среде Matlab (рис. 3). Объект 3-го порядка с запаздыванием в виде инерционных звеньев представляет собой модели двух калориферов, камеры орошения и вентилятора.

База правил нечеткого регулятора

Отклонение $e(t)$	Производная от отклонения, $e'(t)$						
	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>Z</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
	$U(t)$ -управление						
<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>OS</i>	<i>Z</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>
<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>
<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>
<i>Z</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>Z</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>
<i>PM</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>
<i>PS</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>Z</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>
<i>PB</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>Z</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>

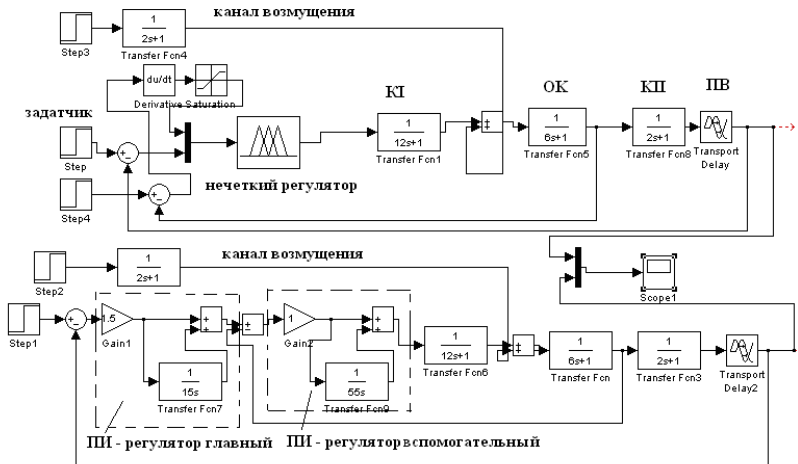


Рис. 3. Структурные схемы нечеткой и типовой каскадных АСР СКВ по каналу задания при действии канала возмущения: 1– входное воздействие

Переходные процессы с выхода объекта, полученные на осциллографе (Scope) (рис. 4), демонстрируют преимущество фаззи-системы (апериодический процесс; $T_p=65$ с) по сравнению с типовой АСР ($\Delta T_1=0,3$; $T_p=75$ с). Таким образом, предложенная нечеткая система управления успешно поддерживает заданные параметры воздуха и может быть использована при управлении целым рядом сложных объектов, работающих в условиях неопределенности и строго требующих точного поддержания контролируемых параметров.

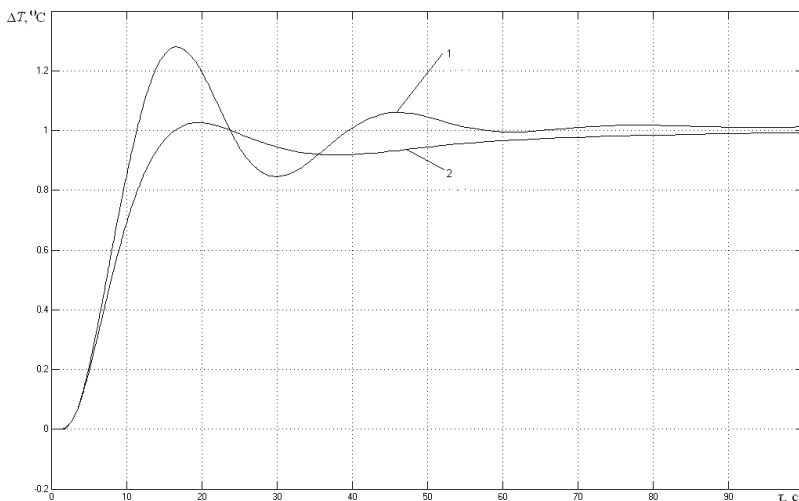


Рис. 4. Переходные процессы АСР: 1 – каскадная с ПИ – регуляторами; 2 – нечеткая

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халамейзер М.Б. Управление системами кондиционирования воздуха. – М.: Машиностроение, 1998. - 323 с.
2. Стефании Е.П. Основы расчета настройки регуляторов тепло-энергетических процессов. – М.: Энергоиздат, 1985. - 361 с.
3. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech. – С. - Птб.: БХВ, 2005. - 720 с.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. - 289 с.
5. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова – М.: Радио и связь, 1992. - 490 с.