

УДК 697.2/.4:681.527

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОТОПЛЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ

А.Ю. Усков

Рассмотрены основные способы и пути повышения энергетической эффективности для систем отопления помещений. За счет применения адаптивных алгоритмов управления достигается улучшение динамических характеристик системы в целом. Предложенный алгоритм, основанный на применении нечеткой логики, позволяет системе управления не только оперативно реагировать на изменения условий окружающей среды, но и осуществлять функции самообучения в процессе функционирования.

Ключевые слова: адаптивные алгоритмы управления, нечеткая логика, прогнозирование, качество регулирования, энергосбережение, системы электрического отопления зданий.

Вопрос поддержания заданных параметров микроклимата в помещении при минимальных затратах энергетических ресурсов в настоящее время становится все более актуальным. Очевидно, что для решения поставленной задачи необходима разработка адаптивной самообучающейся системы управления микроклиматом помещения, которая способна не только реагировать на изменения условий окружающей среды, но и прогнозировать возможные изменения параметров (например, температурного поля в помещении) на основании минимального набора входных данных.

Основными параметрами микроклимата в помещении являются: температура воздуха и относительная влажность воздуха. В дальнейшем, для упрощения условно будем считать влажность воздуха одинаковой во всем объеме рассматриваемого помещения, и в качестве единственного контролируемого параметра будем рассматривать температуру воздуха в помещении. Но поскольку температура воздуха в различных точках пространства помещения может существенно отличаться, то имеет смысл говорить о температурном поле помещения, представляющем собой набор значений, распределенных в объеме помещения, а не о конкретном значении указанного параметра. Таким образом, процесс управления системой отопления помещения сводится к двум основным взаимосвязанным задачам:

– определение параметров температурного поля помещения: температуры воздуха в каждой точке пространства помещения, направление и значение вектора скорости изменения параметра;

– выработка управляющего воздействия на основе измеренных параметров температурного поля помещения, данных прогноза изменения указанных параметров, а также накопленного опыта (в процессе самообучения).

Оптимальное управление микроклиматом в помещении не может осуществляться в отсутствие данных о температуре воздуха в каждой точке пространства помещения. Таким образом, как минимум, необходимо построить температурное поле (градиент) в разрезе одной горизонтальной плоскости помещения. Для этого используются специальные методики, основанные на сканировании пространства помещения ультразвуковыми волнами, описание которых выходит за рамки данной статьи. В дальнейшем просто будем считать, что данные о значении температуры в каждой точке горизонтальной плоскости разреза помещения нам известны с высокой точностью $\pm 0,05$ °С (рис. 1, 2).

Температурное поле в помещении зависит от расположенных в нем источников тепла и источников холода, которые в свою очередь могут быть как управляемыми (обогреватель, кондиционер), так и неуправляемыми (солнечное излучение, ограждающие конструкции, окна и двери – обуславливающие дополнительные конвекционные потоки в помещении).

Немаловажными параметрами, влияющими на микроклимат в помещении, являются также наружная температура воздуха и давление. Измеренные значения указанных параметров позволяют с высокой точностью осуществлять краткосрочное прогнозирование изменений внешних погодных условий (алгоритмы Замбретти, Ричардсона и так далее), что позволяет заблаговременно реагировать на изменения внешних условий окружающей среды предупреждающими мерами регулирования.

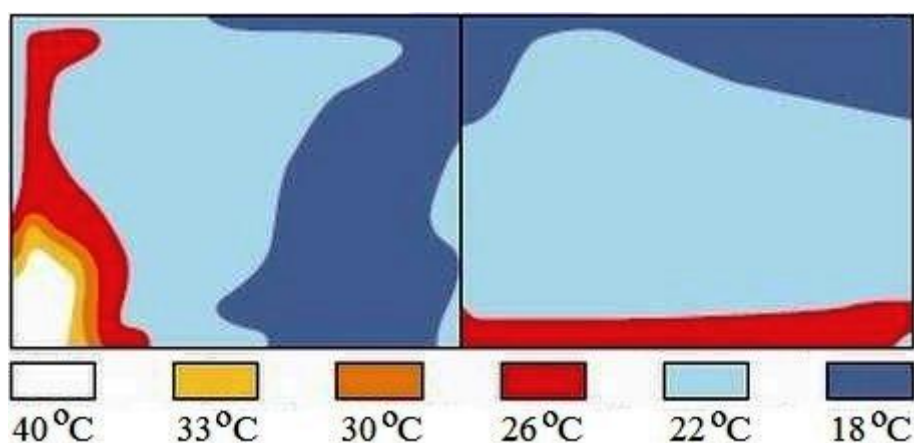


Рис. 1. Пример распределения температурного поля в помещении с радиатором отопления (слева) и теплым полом (справа)

t_{11}	t_{12}	t_{13}	...	t_{1n-1}	t_{1n}
t_{21}	t_{22}	t_{23}	...	t_{2n-1}	t_{2n}
...
$t_{m-1,1}$	$t_{m-1,2}$	$t_{m-1,3}$...	$t_{m-1,n-1}$	$t_{m-1,n}$
$t_{m,1}$	$t_{m,2}$	$t_{m,3}$...	$t_{m,n-1}$	$t_{m,n}$

Рис. 2. Общий вид матрицы значений температур воздуха, распределенных в плоскости сечения пространства помещения

Разрабатываемая система благодаря наличию широких возможностей прогнозирования внешних погодных условий, способна осуществлять предупреждающее регулирование выходной мощности нагревательных устройств или устройств охлаждения, что сокращает энергетические затраты и время реакции системы в целом. Благодаря наличию данных о распределении температурного поля в помещении (рис. 2), а также его изменении с течением времени (в динамике), разрабатываемая система способна определять конвективные потоки в помещении (например, сквозняки), а также идентифицировать их источники. А это в конечном итоге (в результате процесса обучения), позволит системе управления выработать ряд правил управления для различных ситуаций (наборов параметров внешней среды) на основе алгоритмов нечеткой логики.

Так, например, экспериментально было установлено, что конечная эффективность разработанной системы управления существенно зависит от обучающей выборки значений. Выборка значений для данной системы была сформирована на основе данных от разработанной автором данной статьи метеостанции (temp.en-i.ru), которая в течение двух лет собирала данные об атмосферном давлении и температуре окружающего воздуха вне помещения. Использование данной выборки позволило снизить вероятность ложных прогнозов более чем на 30 %.

В момент первого включения системы управления происходит ее обучение за счет поочередного включения (отключения) устройств обогрева и охлаждения воздуха в помещении, а также изменения их мощности в пределах от 0 до 100 %.

При этом, наблюдая за изменением градиентного поля температур в помещении, системой управления автоматически создается набор зависимостей между управляющим воздействием на соответствующее устройство обогрева (охлаждения) и полученным результатом изменения температурного поля в помещении (за счет обратной связи). Эта процедура необходима для сокращения в дальнейшем времени реакции системы на изменения условий окружающей среды и величины перерегулирования системы, а также как следствие, снижения общей потребляемой мощности и повышения энергетической эффективности работы системы управления микроклиматом в помещении в целом.

Важной особенностью разрабатываемой системы управления является способность оценки целесообразности использования тех или иных действий. Например, если планируемая реакция системы на внешнее воздействие не позволяет даже приблизиться к заданному значению температуры за счет 100 % воздействия устройствами обогрева (охлаждения), то система данные действия не предпринимает.

Таким образом, разрабатываемая система состоит из нескольких уровней управления, осуществляющих прогнозирование изменений внешних условий окружающей среды, управляемый нагрев (охлаждение) воздуха в помещении, а также оценки эффективности каждого принятого решения в общем процессе поддержания заданного микроклимата в помещении.

Для построения алгоритма работы системы управления воспользуемся основными положениями теории нечеткой логики, что существенно увеличит адаптивность разрабатываемой системы (рис. 3). Таким образом, используя набор правил и зависимостей между входными и выходными параметрами окружающей среды, система управления будет автоматически определять вид и величину управляющего воздействия, оценивать эффективность принятого решения, вводить корректирующие действия (если это необходимо) и осуществлять корректировку набора правил на основании полученных результатов – процесс обучения.

Для принятия решения о необходимости регулирования микроклимата в помещении используется набор из 3-х лингвистических переменных, которые рассмотрим подробнее [8, 9].

Отклонение текущего значения температуры от заданного.

Данная переменная является основным показателем необходимости вмешательства разрабатываемой системы управления в процесс поддержания заданного микроклимата:

$$\Delta T = |T_{\text{мгновенное}} - T_{\text{заданное}}|, \quad (1)$$

где $T_{\text{мгновенное}}$ – мгновенное значение температуры в помещении, $T_{\text{заданное}}$ – требуемое значение температуры воздуха в помещении.

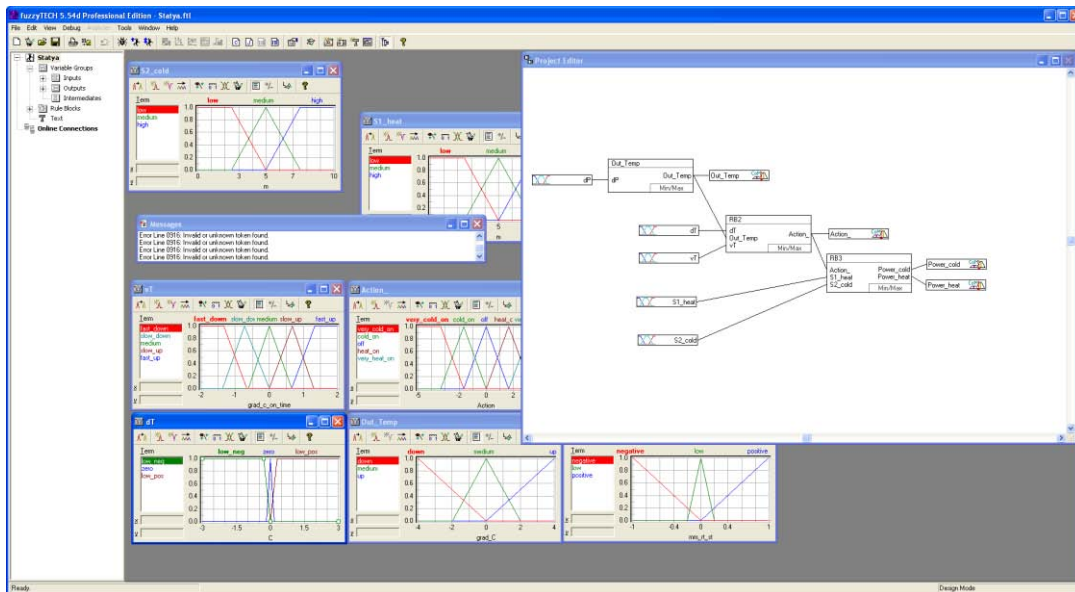


Рис. 3. Процесс моделирования работы системы управления в программе fuzzyTECH 5.54d Professional Edition

Скорость изменения температурного значения поля в определенной точке помещения.

Переменная отражает время реакции объекта управления на внешние воздействия и показывает изменение температуры за определенный конечный промежуток времени:

$$T_{dT/dt} = \frac{T_2 - T_1}{t_2 - t_1}, \quad (2)$$

где T_1 и T_2 – значения температуры в начальный и конечный моменты времени соответственно, t_1 и t_2 – начальный и конечный момент времени соответственно.

Расстояние от устройства обогрева (охлаждения) до наиболее холодной (горячей) зоны помещения.

Переменная представляет собой длину вектора, началом координат которого является место установки устройства обогрева / охлаждения, а координатами конца вектора – наиболее холодная / горячая точка пространства помещения. Данная переменная необходима, для определения рациональности использования того или иного устройства:

$$S = |\vec{OA}| = \sqrt{OA_x^2 + OA_y^2 + OA_z^2}, \quad (3)$$

где OA_x , OA_y , OA_z – координаты вектора.

Термы лингвистической переменной S {большое расстояние; среднее расстояние; небольшое расстояние}.

В результате дефазификации (методом центра максимумов CoM) [8, 9] формируются выходные управляющие сигналы для устройств обогрева / охлаждения, мощность которых регулируется ступенчато: 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %.

75 %, 100 %. Дискретность мощности регулирования является достаточной для управления температурными режимами в помещении с заданной точностью. Трехмерные поверхности нечеткого вывода для управляемых устройств обогрева (охлаждения) воздуха в помещении в зависимости от текущих состояний параметров помещения приведены на рис. 4, 5.

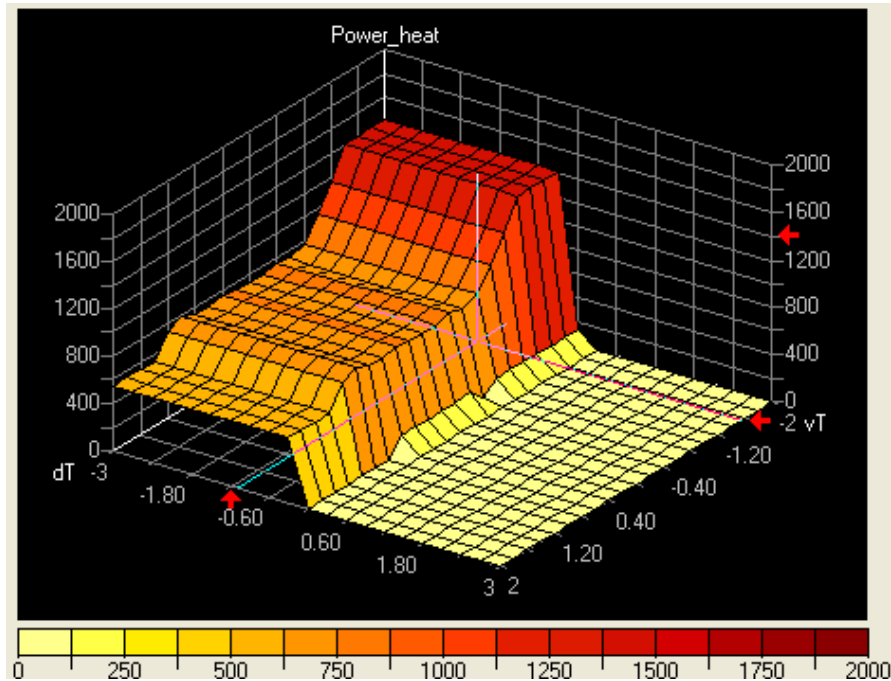


Рис. 4. Трехмерная поверхность нечеткого вывода для устройств обогрева воздуха в помещении

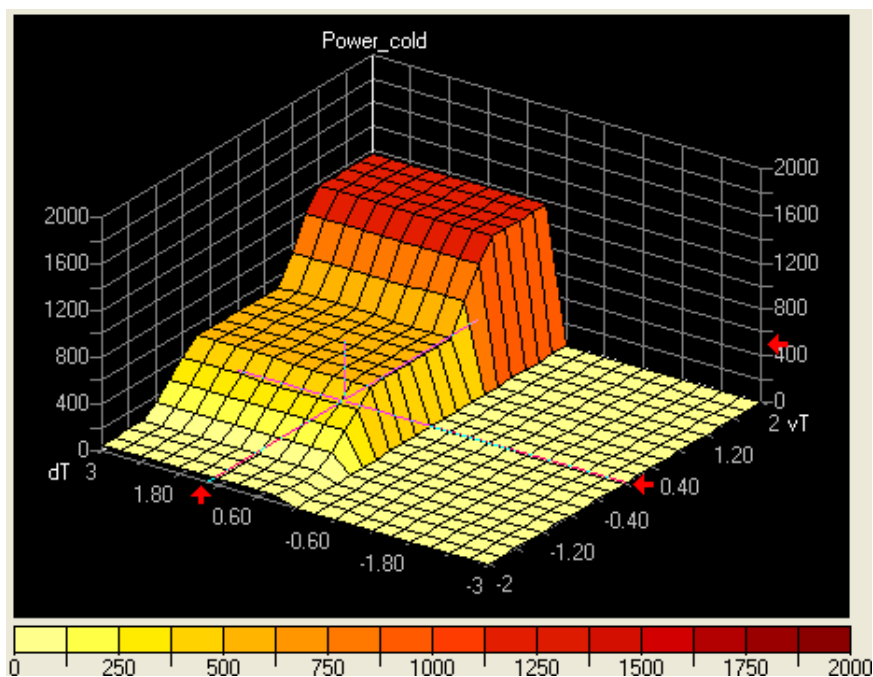


Рис. 5. Трехмерная поверхность нечеткого вывода для устройств охлаждения воздуха в помещении

Результатами математического моделирования теоретически была подтверждена принципиальная возможность синтеза адаптивного алгоритма управления системой отопления помещения на базе нечеткой логики с использованием набора из 3-х лингвистических переменных. Обобщенная схема взаимодействия функциональных (аппаратных и программных) блоков адаптивного алгоритма управления системой отопления помещения приведена на рис. 6.

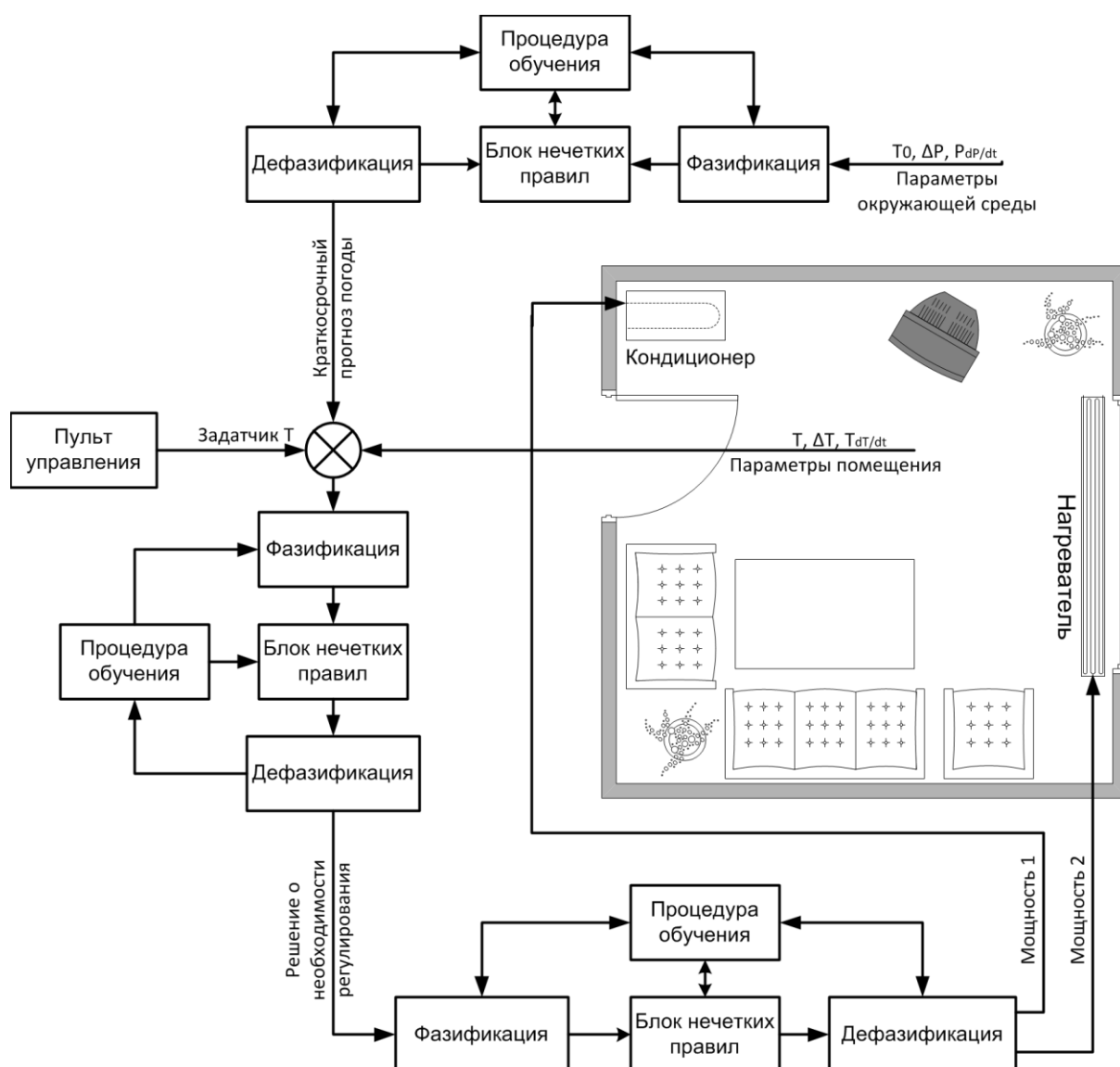


Рис. 6. Схема взаимодействия функциональных (аппаратных и программных) блоков адаптивного алгоритма управления системой отопления помещения

Система состоит из 3-х функциональных блоков: блок прогнозирования состояния окружающей среды, блок принятия решений о необходимости управляющего воздействия, блок принятия решений о величине управ-

ляющего воздействия. Каждый функциональный блок состоит из 4-х структурных элементов: блока нечетких правил, блоков фазификации и дефазификации и блока, осуществляющего процедуру обучения. Взаимодействие с пользователем осуществляется посредством пульта управления, с помощью которого и будут задаваться требуемые параметры микроклимата.

Обобщая все выше сказанное, можно смело утверждать, что методика поддержания микроклимата в помещении на основе расчета и прогнозирования градиента конвективного потока, а также применение нечеткого регулятора с возможностью самообучения для управления системой отопления помещения позволяют:

- значительно упростить математические вычисления;
- существенно снизить энергетические затраты;
- повысить эффективность работы системы отопления в целом.

Библиографический список

1. Усков, А.Ю. Повышение качества регулирования систем электроотопления / А.Ю. Усков, И.М. Кирпичникова, Е.Л. Файда, Т.Ю. Никонова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2012. – № 37 [296]. – Вып. 18. – С. 87–89.
2. Патент 2249287 Российская Федерация, МПК7 Н 02 J 13/00, G 05 D 23/19. Способ управления группой электронагревательных устройств / Л.Ф. Файда, С.А. Соболев, Е.Л. Файда. – № 2003115996, заявление 28.05.03, опубликовано 20.08.03, Бюл. № 9.
3. Панферов, В.И. Об оптимальном управлении тепловым режимом зданий / В.И. Панферов, Е.Ю. Анисимова, А.Н. Нагорная // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2007. – № 8. – С. 3–9.
4. Тульчин, И.К. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий / И.К. Тульчин, Г.И. Нудлер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 480 с.
5. Пырков, В.В. Электрические кабельные системы отопления. Энергетическое сопоставление / В.В. Пырков. – К.: ООО «Медиа-Макс», 2004. – 88 с.
6. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бородач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
7. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
8. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
9. Круглов, В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голубов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 201 с.

[К содержанию](#)