

УДК 004.896

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА
ПОМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА МАМДАНИ**

Л.Ж. Сансызбай

sansyzbaylazzat@gmail.com

докторант ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г.Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель-Б.Б. Оразбаев

Введение

Значительную долю в энергопотреблении городов составляет потребление электрической энергии инженерными системами, обеспечивающими комфортный микроклимат в помещении (системы вентиляции, кондиционирования и отопления). Поэтому одной из основных задач при проектировании зданий является разработка энергоэффективных систем обеспечения микроклимата.

На основе проведенного анализа работ авторов [1-6], можно сделать вывод, что наиболее пригодными для поддержания параметров микроклимата как в производственных, так и в офисных помещениях, а также обеспечивающими оптимизацию работы инженерного климатического оборудования, являются системы управления, применяющие методы нечеткой логики.

Нечеткая логика основана на использовании различных методов нечеткого вывода. Известны следующие методы нечеткого вывода: алгоритм Mamdani, алгоритм Tsukamoto, алгоритм Sugeno, алгоритм Larsen. Наиболее широкое применение в системах управления получил метод нечеткого вывода Mamdani [7]. Разработанный алгоритм Mamdani основан на нечетком логическом выводе, который позволяет избегать чрезмерно большого объема вычислений. Основным достоинством алгоритма Mamdani является то, что он работает по принципу «черного ящика», для которого выделяют только входные и выходные параметры, не выделяя в явном виде математические методы построения «черного ящика», представляя его в виде некоторой аппроксимацией рассматриваемых процессов.

В контексте данной работы предлагается осуществить управление мощностью оборудования инженерных систем на основе нечеткой логики.

Целью данного исследования является разработка интеллектуальной системы управления микроклиматом помещения на основе алгоритма нечеткого вывода Мамдани.

Основные этапы нечеткого вывода на основе алгоритма Мамдани

Алгоритм Мамдани состоит из следующих этапов: Фаззификация входных и выходных переменных; формализация базы правил; агрегирование подусловий; активация подзаключений; аккумуляирование заключений; дефаззификация.

Далее рассмотрены операционные действия каждого этапа для поставленной задачи исследования.

Согласно структурной схемы системы управления (Рис. 1), в блоке нечеткого вывода происходит принятие решения, на основе входных переменных $T_{в.}$ - внутренняя температура, $H_{в.}$ - внутренняя влажность и параметров внешних возмущений $T_{вн.}$ - наружная температура, $H_{вн.}$ - наружная влажность. На выходе блока нечеткого вывода формируются управляющие сигналы на соответствующие исполнительные механизмы инженерного оборудования.

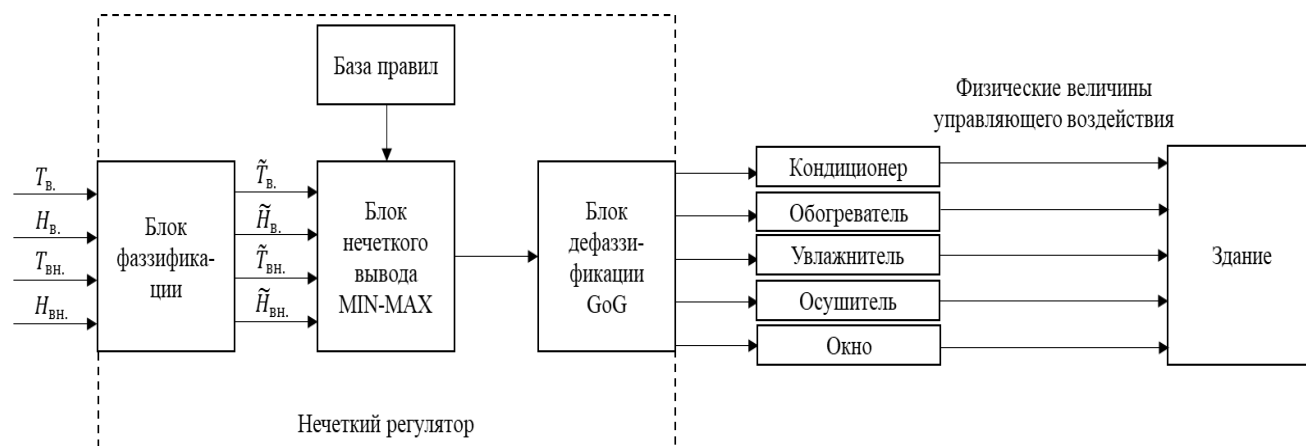


Рис.1 – Структура нечеткого регулятора системы микроклимата

1. Фаззификация входных и выходных переменных.

В ходе данного этапа определяются:

- во-первых, лингвистические переменные входных и выходных параметров нечеткого регулятора и состав их термов. При этом учитываются особенности технологического процесса и имеющийся опыт управления данным процессом;
- во-вторых, функции принадлежности, связывающие физические величины с термами лингвистических переменных.

Ниже представлена процедура фаззификации одной из входных переменных $T_{в.}$

На основании опыта экспертов формируются термы лингвистической переменной «Внутренняя температура помещения», приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Термы лингвистической переменной «Внутренняя температура помещения»

Диапазон, °C	Описание терма		Обозначение
	Рус.	Англ.	
$T_{в.} < 18$	Внутренняя температура некомфортная, пониженная	Low Uncomfortable Internal Temperature	LUIT
$18 < T_{в.} < 20$	Внутренняя температура относительно комфортная, пониженная	Low Comfortable Internal Temperature	LCIT
$20 < T_{в.} < 22$	Внутренняя температура комфортная, номинальная	Nominal Comfortable Internal Temperature	NCIT
$22 < T_{в.} < 24$	Внутренняя температура относительно комфортная, повышенная	High Comfortable Internal Temperature	HCIT
$24 < T_{в.}$	Внутренняя температура некомфортная, повышенная	High Uncomfortable Internal Temperature	HUIT

Далее осуществляется определение функций принадлежности, устанавливающей соответствие между значениями реальной физической величины и термами лингвистической переменной. В нашем случае, необходимо установить соответствие между физической величиной $T_{в.}$ и термами лингвистической переменной «Внутренняя температура помещения».

В подавляющем большинстве приложений используются следующие виды стандартных функции принадлежности: треугольная, трапецеидальная, гауссова. Для входных переменных использована трапецеидальная функция принадлежности, которая описывает терм по 4-ем точкам, где первая – начало левого плеча функции, 2 и 3 – границы ядра функции, 4 – крайняя точка правого плеча. Для выходных переменных функции принадлежности формируются аналогичным образом за исключением крайних термов. Для них выбран тип «треугольная», описывающий функцию по трем точкам.

Определяются исходные данные (ядро терма, носитель нечеткого множества, левое и правое плечи функции принадлежности), необходимые для построения функций принадлежности лингвистической переменной «Внутренняя температура помещения» (таблица 2).

Таблица 2

Исходные данные для функций принадлежности термов лингвистической переменной «Внутренняя температура помещения»

Терм	Ядро терма	Носитель нечеткого множества	Левое плечо функции принадлежности	Правое плечо функции принадлежности
LUIT	$\leq 17,5$	$(-\infty; 18,5)$	-	$(17,5; 18,5)$
LCIT	$(18,5; 19,5)$	$(17,5; 20,5)$	$(17,5; 18,5)$	$(19,5; 20,5)$
NCIT	$(20,5; 21,5)$	$(19,5; 22,5)$	$(19,5; 20,5)$	$(21,5; 22,5)$
HCIT	$(22,5; 23,5)$	$(21,5; 24,5)$	$(21,5; 22,5)$	$(23,5; 24,5)$
HUIT	$\geq 24,5$	$(23,5; +\infty)$	$(23,5; 24,5)$	-

Полученные функции принадлежности термов лингвистической переменной «Внутренняя температура помещения» представлены на рисунке 2. Все функции принадлежности для всех термов лингвистической переменной принято изображать на одной диаграмме.

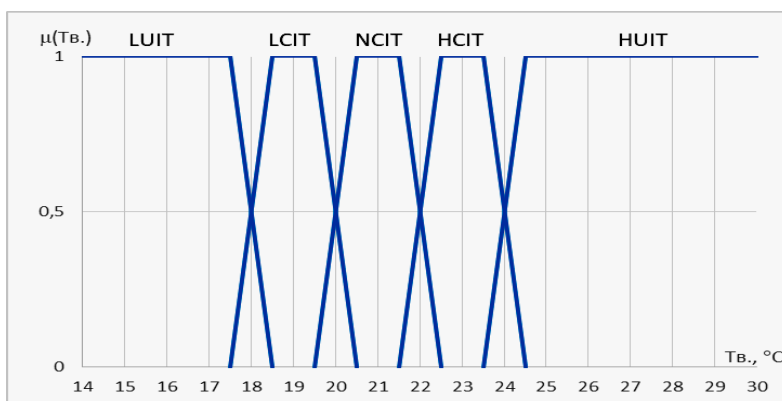


Рис. 2 – Функции принадлежности термов лингвистической переменной «Внутренняя температура помещения»

Аналогично образом производится фаззификация остальных входных и выходных переменных.

2. Формализация базы правил.

В соответствие с введенными состояниями, были рассмотрены примеры возможных комбинаций входных переменных и определено множество лингвистических правил. В общем случае размер базы правил (число правил в ней) нечеткой системы будет равен произведению количества термов входных переменных (1):

$$N = l_1 \cdot l_2 \cdot \dots \cdot l_n \quad (1)$$

где n – количество входных переменных; l_i – мощность терм-множества для оценки входной переменной.

В нашем случае, база правил будет представлена 225 логическими выражениями, так как входные переменные «Внутренняя температура помещения», «Влажность воздуха» описаны 5 термами, «Наружная температура», «Наружная влажность» – 3 термами.

Логические выражения строятся на основе нечеткой импликации следующего вида (2) [8-10]:

$$\text{Если } x = A \text{ то } y = B \quad (2)$$

где $(x = A)$ – *антецедент* (условия), а $(y = B)$ – *консеквент* (заключение), A и B – нечеткие множества, заданные своими функциями принадлежности $\mu_A(x)$ и $\mu_B(y)$ соответственно.

В нашем случае, антецеденты – состояния входных и внешних возмущающих параметров системы микроклимата, объединенные оператором «И», консеквенты – управляющие воздействия на исполнительные механизмы. При составлении выражений базы правил используются термы лингвистических переменных входных и выходных параметров.

Фрагмент разработанной базы правил приведен на рисунке 3.

№	ЕСЛИ				ТО				
	Термы внутренних параметров		Термы внешних параметров		Термы выходных параметров				
	Внутренняя температура	Внутренняя влажность	Наружная температура	Наружная влажность	Степень открытия окна	Кондиционер	Обогреватель	Увлажнитель	Осушитель
	Тв.	Нв.	Твн.	Нвн.	Window	Cooler	Heater	Moisturizer	Dryer
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	LUIT	LUIH	LUET	LUEH	WC	ST	HP	HP	ST
2	LUIT	LUIH	LUET	NCEH	WC	ST	HP	HP	ST
3	LUIT	LUIH	LUET	HUEH	WC	ST	HP	HP	ST
4	LUIT	LUIH	NCET	LUEH	WC	ST	HP	HP	ST
5	LUIT	LUIH	NCET	NCEH	WC	ST	HP	HP	ST
6	LUIT	LUIH	NCET	HUEH	WC	ST	HP	HP	ST
7	LUIT	LUIH	HUET	LUEH	WC	ST	HP	HP	ST
8	LUIT	LUIH	HUET	NCEH	WC	ST	HP	HP	ST
9	LUIT	LUIH	HUET	HUEH	WC	ST	HP	HP	ST
10	LUIT	LCIH	LUET	LUEH	WC	ST	HP	AP	ST

Рис. 3 – Фрагмент разработанной базы правил

Нечеткий вывод и дефаззификация

Задачей нечеткого вывода является определение результирующей функции принадлежности для управляющих воздействий с использованием базы правил и нечетких операций [8,9,11-13].

Выделяются основные этапы получения результирующей функции принадлежности нечеткого вывода:

3. *Агрегирование* – этап, на котором для каждого правила определяется степень истинности антецедента.

4. *Активизация* – определение степени истинности для каждого высказывания с учетом их заключений, т.е. определение веса того или иного выходного параметра (лингвистической переменной) для конкретного консеквента.

5. *Аккумуляция* – построение результирующих функций принадлежности для каждого выходного параметра (лингвистической переменной), т.е. обобщение всех степеней истинности подзаключений полученных на этапе активизации.

В работе предлагается использовать нечеткую логическую операцию «И» для этапа агрегирования. Затем на этапе активизации происходит определение подзаключений с помощью операции min. А аккумуляция происходит уже по принципу max. Таким образом, система использует максиминный подход с логическим объединением операций «И».

6. Дефаззификация.

На этапе нечеткого вывода осуществляется определение нечетким регулятором значений функций принадлежности управляющих воздействий по каналам управления температурой, влажностью. Далее для определения четкой физической величины управляющих воздействий на исполнительные механизмы необходимо выполнить дефаззификацию. Широко применяются следующие методы дефаззификации: метод центра тяжести – COG (Center Of Gravity); метод медианы - BOA (Bisector Of Area); метод наибольшего из максимумов - LOM (Largest Of Maximums); метод наименьшего из максимумов - SOM (Smallest Of Maximums); центр максимумов - MOM (Mean Of Maximums); первый из максимумов - FOM (First Of Maximum) и т.д.

Из всех представленных методов, наиболее зарекомендовавшим себя, является метод центра тяжести, который является одним из самых быстрореализуемых и обеспечивает плавный переход между различными условиями.

Управляющие воздействия в четкой форме подаются на исполнительные механизмы, тем самым осуществляется обеспечение требуемых значений параметров микроклимата.

Экранные формы процесса разработки системы управления параметрами микроклимата на основе алгоритма Мамдани в среде Fuzzy Logic Toolbox в пакете прикладных программ Matlab представлены на рисунках 4-6.

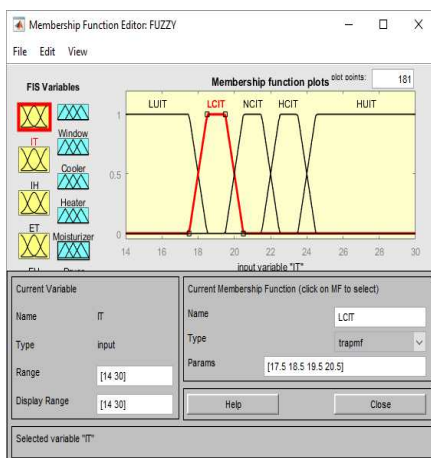


Рис. 4 – Окно редактора при построении функций принадлежности

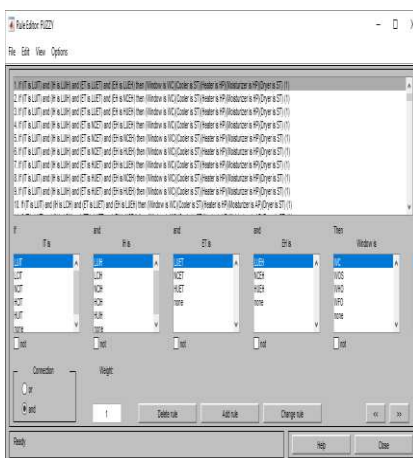


Рис. 5 – Окно редактора правил (Rule Editor)

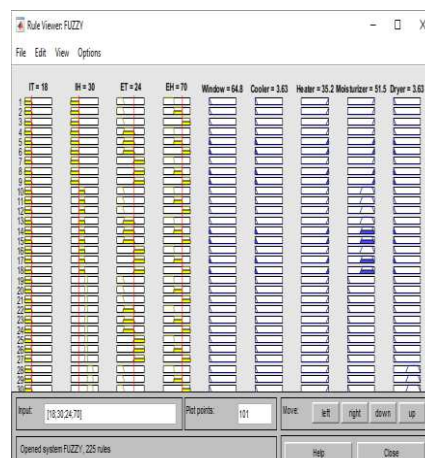


Рис. 6 – Окно обозревателя правил (Rule Viewer)

Заключение

Достоинствами разработанной системы на основе алгоритма Мамдани являются:

- управление процессом формирования благоприятного микроклимата осуществляется с учетом внешних возмущающих воздействий;
- система осуществляет оперативный контроль параметров микроклимата помещения в соответствии с нормативными значениями;
- определяет оптимальную мощность инженерного климатического оборудования, обеспечивая эффективный режим потребления электрической энергии.

Список использованных источников

1. Сансызбай Л.Ж., Оразбаев Б.Б. Интеллектуальная система управления процессом формирования микроклимата в помещении. Вестник. Серия Естественные-технические науки. - Нур-Султан: ЕНУ, 2017. - №4. - С. 161-169.
2. Пешко М. С. Адаптивная система управления параметрами микроклимата процессов производства и хранения пищевых продуктов: дис. ...канд. техн. наук: 05.13.06 / М. С. Пешко; ФГОУ ВПО «Омский государственный технический университет». – Омск, 2015. – 200 с
3. Алёшкин Н.А. Модели и методики мониторинга микроклимата в производстве изделий бортовой микроэлектроники: диссертация ... кандидата Технические наук: 05.02.22 / Алёшкин Никита Андреевич; [Место защиты: ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения], 2017, 210 с.
4. Савосин С.И. Интеллектуальная система контроля влажности и температуры воздуха в теплице: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.06 / Савосин Сергей Иванович; [Место защиты: Рос. гос. аграр. заоч. ун-т]. - Москва, 2009. - 132 с.
5. Бобриков Д.А. Многоуровневая автоматизированная система управления микроклиматом на основе нечеткой логики: диссертация ... кандидата Технические наук: 05.13.06 / Бобриков Дмитрий Александрович; [Место защиты: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»], 2017. - 154 с.

6. Аль Джубури Иссам Мохаммед Али. Мехатронная система управления микроклиматом в зданиях на базе нечеткой логики: диссертация кандидата технических наук: 05.02.05 / Аль Джубури Иссам Мохаммед Али; [Место защиты: Юж. -Рос. гос. техн. ун-т (Новочеркас. политехн. ин-т)]. - Новочеркасск, 2010.- 188 с.
7. Осипов, Г.С. Методы искусственного интеллекта / Г.С. Осипов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 296 с.
8. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; перевод с польского И. Д. Рудинский. - М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
9. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление; перевод с англ.А. Г. Подвесовский, Ю. В. Тюменцев. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.
10. Леденева Т. М. О нечетких импликациях, полученных обобщением булевой функции / Т. М. Леденева, А. В. Грибовский // Вестник ВГУ, серия физика, математика. – 2003. – № 2. – С. 189-196
11. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
12. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 200 с.
13. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. –М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.