

УДК 004.9:681.53

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ КОНДИЦИО- НИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Н. И. Бабич

Аспирант

Кафедра информационных систем
Одесский национальный политехнический
университет
пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65000
E-mail: babich.tiger@gmail.com

Представлена нечітка модель оцінки комфортного повітряного середовища в жиллому приміщенні, на основі якої вихідні комфортні значення температури і відносної вологості формуються з урахуванням індивідуальних характеристик людини. Застосування розробленої нечіткої моделі на початкових етапах проектування дозволяє значно підвищити рівень якості проектних робіт, а саме формування технічної документації про об'єкти проектування

Ключові слова: нечітка модель, індивідуальні характеристики, комфортні умови, температура, відносна вологість, проектування

Представлена нечеткая модель оценки комфортной воздушной среды в обитаемом помещении, на основе которой выходные комфортные значения температуры и относительной влажности формируются с учетом индивидуальных характеристик человека. Применение разработанной нечеткой модели на начальных этапах проектирования позволяет значительно повысить уровень качества проектных работ, а именно формирование технической документации об объектах проектирования

Ключевые слова: нечеткая модель, индивидуальные характеристики, комфортные условия, температура, относительная влажность, проектирование

1. Введение

Процесс проектирования, как отдельных объектов, так и систем, начинается с выработки технического задания (ТЗ) на проектирование. В ТЗ содержатся основные сведения об объекте проектирования, условиях его эксплуатации, а также требования, предъявляемые заказчиком к проектируемому изделию. Важнейшее требование к ТЗ – это его полнота. Чем более подробную информацию получит инженер-проектировщик, тем более определенными становятся сроки и качество проектирования.

2. Анализ литературы

Основы системного анализа теплового и воздушно-го режимов в помещениях при проектировании систем кондиционирования и увлажнения воздуха (КиУ) были созданы В.Н. Богословским, А.Я. Креслиным, Ю.Я. Кувшиновым, А.А. Рымкевичем и другими. На сегодняшний день при проектировании систем КиУ для определения комфортных условий (КУ) большинство инженеров пользуются данными из нормативных документов.

Но в связи с изменениями и климатических зон, и различных технологий при проектировании, все более актуальным становится учет индивидуальных характеристик человека при формировании значений КУ [1 – 4].

В работе, в качестве параметров для обеспечения КУ, были выбраны температура воздуха внутри помещения и относительная влажность, как два основных

параметра, изменение которых существенно влияет на тепловой комфорт человека находящего внутри помещения. Решалась задача определения параметров индивидуального ощущения комфорта с учетом ряда особенностей, таких как режим человеческой деятельности, вид одежды, возраст, климатический период. Следует отметить, что все эти особенности обладают определенной “нечеткостью”. Так, например, “режим человеческой деятельности”, может быть оценен количеством затрачиваемой энергии, однако, к примеру, при физическом труде, невозможно с определенной точностью сказать, что человеком затрачивается 150 Вт энергии [5, 6].

3. Основная часть

Поэтому для решения поставленной задачи предлагается разработать нечеткую модель, на основе классической системы нечеткого логического вывода, механизм которой включает в себя четыре этапа: введение нечеткости (фазификация), нечеткий вывод, композиция и приведение к четкости (дефазификация) (рис. 1) [7, 8].



Рис. 1. Система нечеткого логического вывода

Таблица 1

Показатели “Met” при различных видах деятельности

Вид деятельности	Вт/м ²	“Met”
“Сон”	10 - 60	0,1 - 0,8
“Легкий труд”	50 - 150	0,7 - 1,7
“Тяжелый труд”	135 - 270	1,5 - 3,3

В результате чего в данной работе, для выбора значений температуры и относительной влажности воздуха, при обеспечении КУ в обитаемом помещении, разработана нечеткая модель. Данная модель состоит из четырех входных лингвистических переменных (d, o, v, k) и двух выходных – (t, h), где d – режим человеческой деятельности, o – вид одежды, v – возраст человека, k – климат внешней среды, t – температура внутри помещения и h – относительная влажность в помещении (рис. 2).

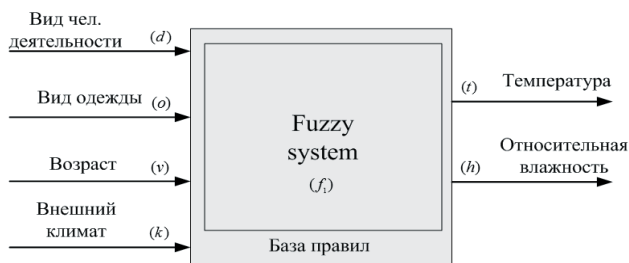


Рис. 2. Нечеткая модель для определения комфортных параметров воздушной среды

На первом этапе механизма нечеткого логического вывода необходимо выполнить фазификацию, привести значения к нечеткости, для чего была проведена экспертная оценка входных переменных и определено по три лингвистических термина (ЛТ) для каждой.

Так, для переменной d – (“Сон”, ЛТ – “Легкий труд”, ТТ – “Тяжелый труд”) (рис. 3), а для o – (КЛЛ – “Костюм летний легкий”, КСП – “Костюм средней плотности”, КЗ – “Костюм зимний”). При этом для этих двух входных переменных была выбрана треугольная форма функции принадлежности класса t, которая определяется как:

$$\mu(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}, \quad (1)$$

где: [a, b, c] – значения для лингвистических термов.

Для определения значений лингвистических термов был проведен соответствующий анализ. В практике проектирования систем кондиционирования, для того, чтобы определить количество тепла, выделяемого организмом человека при различных видах деятельности, вводится специальный показатель, получивший название “Met” (от “метаболизм” – выделение тепла внутри организма). При спокойном (нейтральном) состоянии человека он равняется величине 58 Вт/м².

В табл. 1 приведены показатели “Met” при основных видах деятельности. Они использовались при оценке количества тепла и при оценке условий комфортного состояния.

На основе значений из табл. 1 были определены значения для лингвистических термов и соответствующая функция принадлежности.

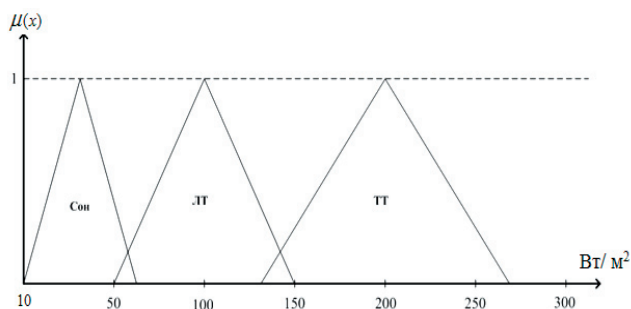


Рис. 3. Функция принадлежности $\mu(x)$ для входной ЛП “Вид человеческой деятельности” в зависимости от затрачиваемого человеком тепла

Одежда имеет теплоизоляционный эффект в отношении передачи тепла во внешнюю среду. Чтобы иметь возможность это учитывать, был введен специальный показатель, получивший название “Clo” (сокращение от англ. clothing – одежда). 1 Clo равен 0,155 м² К/Вт.

В табл. 2 приведены показатели “Clo” при основных видах одежды человека.

Показатели являются условными и могут видоизменяться в зависимости от типа материала и комплекта носимой одежды.

Таблица 2

Показатели значения “Clo”

Вид одежды	м ² К/Вт	“Clo”
Костюм легкий летний	0,051 - 0,088	0,5 - 0,9
Костюм средней плотности	0,068 - 0,172	0,8 - 1,1
Костюм зимний	0,155 - 0,199	1,0 - 1,3

На основе табл. 2 были определены значения для лингвистических термов: ЛТ“КЛЛ” – [0,051;0,069;0,088], ЛТ“КСП” – [0,068;0,12;0,17], ЛТ“КЗ” – [0,15;0,17;0,2].

Для входных лингвистических переменных v и k было также определено по три лингвистических термина (М – “Молодой”, С – “Средний”, П – “Пожилой”) (рис. 4) и (Х – “Холодный”, У – “Умеренный”, Ж – “Жаркий”), но была выбрана функция принадлежности rimf .

Эта функция задается как произведение s- и z-подобных функций принадлежности:

$$\text{rimf}(x_i, [a, b, c, d]) = \text{smf}(x_i, [a, b]) \cdot \text{zmf}(x_i, [c, d]), \quad (2)$$

где x_i – определенный терм лингвистической переменной.

При этом если $b \leq c$, то параметры функции при-

надлежности интерпретируются следующим образом:

[a,d] – носитель нечеткого множества;

[b,c] – ядро нечеткого множества.

Когда $b > c$, нечеткое множество получается суб-нормальным.

Также на основе проведенного анализа были определены значения для лингвистических терм-множеств и занесены в табл. 3 и табл. 4.

Таблица 3

Показатели лт для переменной “Возраст”

Термы ЛП “Возраст”	a (лет)	b (лет)	c (лет)	d (лет)
молодой	-1	0	7	30
средний	20	34	37	55
пожилой	38	67	70	95

Таблица 4

Показатели лт для переменной “Внешний климат”

Термы ЛП “Внешний климат”	a (°C)	b (°C)	c (°C)	d (°C)
холодный	-10	0	4	15
умеренный	10	17	18	25
жаркий	20	35	37	47

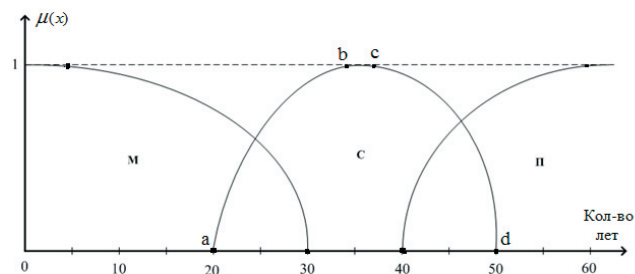


Рис. 4. Функция принадлежности $\mu(x)$ для входной ЛП “Возраст” в зависимости от количества лет человека

Функция *pimf* в данной работе применяется для задания ассиметричных функций принадлежности с плавным переходом от пессимистической к оптимистической оценки нечеткого числа.

Так и для выходных переменных t и h было так же определено по три лингвистических термина (П – “Прохладно”, Н – “Нормально”, Т – “Тепло”) и (С – “Сухо”, В – “Нормально”, В – “Влажно”) и была выбрана функция принадлежности *pimf*.

Значения для лингвистических терм-множеств сформированы на основе проведенных экспертных оценок и занесены в табл. 5 и табл. 6.

Таблица 5

Показатели лингвистических термов для ЛП “Температура”

Термы ЛП “Температура”	a (°C)	b (°C)	c (°C)	d (°C)
прохладно	14	17	18	22
нормально	19	22	22	24
тепло	22	25	27	30

Таблица 6

Показатели лингвистических термов для ЛП “Относительная влажность”

Термы ЛП “Относительная влажность”	a (%)	b (%)	c (%)	d (%)
сухо	39	39	40	50
нормально	45	50	50	55
влажно	50	59	60	60

При этом зависимость выходных координат системы от входных $(t, h) = f_i(d, o, v, k)$ определяется нечеткими правилами, которые формируются в базу правил, необходимую для 2 этапа, а именно нечеткого вывода, на основе алгоритма Мамдани.

Так как это наиболее распространенный способ логического вывода в нечетких системах, в нем используется минимаксная композиция нечетких множеств.

База правил сформирована на основе нечетких высказываний в форме “Если-То” (табл. 7) и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов. База правил имеет 81 правило вида:

$$R_1: \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ это } A_{11} \dots \text{ И } \dots x_k \text{ это } A_{1n}, \text{ ТО } y_j \text{ это } B_1$$

...

$$R_i: \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ это } A_{i1} \dots \text{ И } \dots x_k \text{ это } A_{in}, \text{ ТО } y_j \text{ это } B_i$$

...

$$R_m: \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ это } A_{m1} \dots \text{ И } \dots x_k \text{ это } A_{mn}, \text{ ТО } y_j \text{ это } B_m,$$

где $x_k, k=1..n$ – входные переменные; $y_j, j=1..n$ – выходные переменные; A_{ik} – заданные нечеткие множества с функциями принадлежности.

Таблица 7

Примеры формирования нечетких правил

	Входные нечеткие переменные					Выходные неч. переменные	
	Режим работы	Вид одежды	Возраст	Климат внешний		Температура	Относительная влажность
ЕСЛИ	сон	клл	м	х	ТО	т	с
ЕСЛИ	лт	клл	с	у	ТО	н	н
ЕСЛИ	лт	кз	с	у	ТО	п	в
ЕСЛИ	тт	ксп	п	х	ТО	т	с
...

Результатом нечеткого вывода является четкое значение переменных t и h на основе заданных четких значений $x_k, k=1..n$.

Далее по нечеткой базе знаний был выполнен логический вывод по алгоритму Мамдани:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ с весом } w_{jp} \right) \rightarrow y_n = d_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

в котором значения входных и выходных переменных заданы нечеткими множествами. Введем следующие обозначения:

$\mu_{jp}(x_i)$ – функция принадлежности входа x_i нечеткому терму $a_{i,jp}$, т.е.

Таблица 8

$$a_{i,jp} = \int_{x_i}^{\bar{x}_i} \mu_{jp}(x_i) / x_i, \quad x_i \in [x_i, \bar{x}_i],$$

где $\mu_{dj}(y_i)$ – функция принадлежности выхода y_i нечеткому терму, т.е.

$$d_j = \int_{y_i}^{\bar{y}_i} \mu_{dj}(y_i) / y_i, \quad y_i \in [y_i, \bar{y}_i].$$

Степени принадлежности входного вектора $x^* = (d, o, v, k)$ нечетким термам d_j из базы знаний рассчитываются следующим образом:

$$\mu_{dj}(x^*) = \bigcup_{p=1, k_j} w_{jp} \cdot \bigcap_{i=1, n} [\mu_{dj}(x_i^*)], \quad (4)$$

где $\bigcup(\bigcap)$ – операция из s-нормы (t-нормы), т.е. из множества реализаций логической операции ИЛИ (И).

В результате чего четкие значения выходов t, h , соответствующие входному вектору x^* определяется в результате последнего этапа, а именно дефазификации по методу центра тяжести:

$$y = \frac{\int_{\underline{y}}^{\bar{y}} y \cdot \mu_{\tilde{y}}(y) dy}{\int_{\underline{y}}^{\bar{y}} \mu_{\tilde{y}}(y) dy}. \quad (5)$$

После проведения дефазификации была получена нечеткая модель для выбора комфортных условий внутри обитаемого помещения на основании учета индивидуальных характеристик человека [9-11].

В табл. 8 приведены некоторые варианты значений в зависимости от индивидуальных параметров.

Пример выборки вариантов значений индивидуальных параметров

Входные нечеткие переменные				Выходные нечеткие переменные	
Режим работы (Вт)	Вид одежды (м²К\Вт)	Возраст (лет)	Климат внешний (°С)	Температура (°С)	Относительная влажность (%)
35,8	0,0714	17,5	8,75	25,3	43,6
35,8	0,0714	17,5	30,2	19,5	56,8
42,1	0,183	31,6	32,3	19,4	56,9
103	0,0774	17	20,8	22	50,5
90,5	0,0654	21,7	31,5	19,9	55,8
75,8	0,103	35,8	9,01	25,3	43,7
75,8	0,103	64,5	10,3	25,4	44
82,1	0,124	57,2	31,2	22	50,5
94,7	0,178	61,9	5,88	22,1	50,5
94,7	0,178	64	29,9	19,4	57
202	0,0579	33,7	7,71	25,3	43,7
202	0,0579	33,7	31,2	19,5	56,6
107	0,0714	18	31,5	19,5	56,8
107	0,0714	33,2	19,5	22,1	50,5
107	0,0699	65,6	5,88	25,5	43,2
171	0,178	38,4	9,01	25,3	43,7
171	0,178	31,6	31	19,4	56,9

4. Результаты исследований

В результате разработана нечеткая модель (рис. 5) для выбора параметров воздушной среды, формирующих комфортные условия в обитаемом помещении.

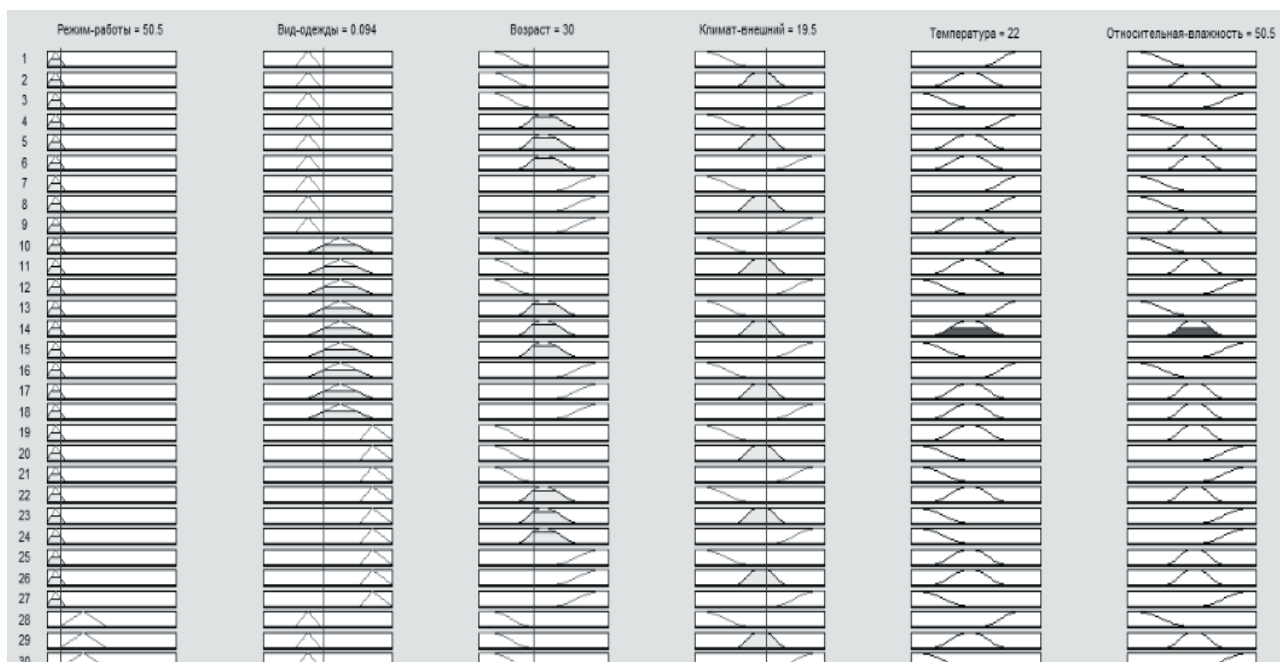


Рис. 5. Программный модуль для определения четких значений температуры и относительной влажности, на основе нечеткой модели

Результаты показывают, что динамика изменений температуры колеблется в пределах 6°C при комфортной относительной влажности от 40 до 60%.

А так как изменение температуры на 2°C требует немалых затрат электроэнергии, то зная необходимые параметры можно не только повысить уровень комфортности в помещении, но и значительно экономить электроэнергию. А так как уровень колебаний зависит абсолютно от разных комбинаций значений индивидуальных параметров, то это подтверждает актуальность использования разработанной нечеткой модели.

Следует так же отметить, что в процессе формирования функций принадлежности была использована, как информация от экспертов, так и информация из нормативных документов, что не противоречит общим

стандартам о нормировании микроклимата в бытовых помещениях.

5. Выводы

Применение разработанной нечеткой модели на начальных этапах проектирования позволяет значительно повысить уровень качества проектных работ, а именно формирование технической документации об объектах проектирования. Повышение качества обусловлено полнотой информации об оценке, выборе и поддержании КУ в обитаемом помещении, как одного из главных этапов при проектировании систем кондиционирования и увлажнения воздуха в обитаемых помещениях.

Литература

1. Ананьев, В.А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика: Учебное пособие [Текст] / В.А. Ананьев, Л.Н. Балуева, А.Д. Гальперин. – М.: «Евроклимат», изд-во «Арина», 2000. – С. 416.
2. Кувшинов, Ю.Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения [Текст] / Ю.Я. Кувшинов. – М.: АСВ, 2007. – С.212.
3. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [Текст].
4. Кокорин, О.Я. Установки кондиционирования воздуха. Основы расчета и проектирования. Изд. 2-е, перераб. и доп. [Текст] / О.Я. Кокорин. – М.: Машиностроение, 1978. – С.264.
5. Антошук, С.Г. Модель автоматизации процессов поддержания теплового комфорта в обитаемом помещении [Текст] / С.Г. Антошук, Н.И. Бабич, В.Г. Панов, Л.Ф. Бурдыка. – Холодильна техніка і технологія. – 2012. – № 1 (135). – С.54.
6. Fanger, P. O. Thermal Comfort-Analysis and Applications in Environmental Engineering [Текст] / P. O. Fanger. – Danish Technical Press. – Copenhagen, 1970. – P. 88 – 90.
7. Новак, В. Математические принципы нечеткой логики [Текст] / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкорж. – Пер. с англ.; Под ред. Аверкина А.Н. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 252 с.
8. Леденева, Т.М. Обработка нечеткой информации [Текст] : учебное пособие / Т.М. Леденева. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2006. – 233 с.
9. Алтунин, А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография [Текст] / А. Е. Алтунин, М. В. Семухин. – Тюмень : Тюменский государственный университет, 2000. – 352 с.
10. Кондратенко, В. Ю. Об'єктно-орієнтовані моделі для синтезу інтелектуальних систем з нечіткою логікою [Текст] / В. Ю. Кондратенко, В. С. Яценко. – Праці Одеського національного політехнічного університету, 2006. – С. 54 – 60.
11. Kandel, A. Fuzzy Control Systems [Текст] / A. Kandel, G. Langholz. – CRC Press LLC, 1993. – P. 187.