

Информационные технологии в архитектуре и строительстве

ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

А. В. Карпенко, А. В. Глебов

Астраханский государственный университет

В данной статье описан алгоритм для расчета индекса PMV, разработанный с использованием искусственных нейронных сетей. Экспериментальные расчеты проводились в среде моделирования Matlab. Искусственная нейронная сеть была обучена с учетом одного входного параметра. Для обучения и развития сети в качестве экспериментальных данных рассматривалась только температура воздуха как наиболее важный фактор в формировании комфортной тепловой среды в помещении. Полученные результаты показали хорошее соответствие с данными статистической модели Фангера, что позволяет использовать нейро-сетевую модель для прогнозирования индекса PMV.

Введение

Комфортная тепловая среда в помещении оказывает благоприятное воздействие на здоровье жителей и влияет на улучшение эффективности работы. Для того, чтобы создать благоприятную тепловую среду в помещении, необходимо правильно оценить степень теплового комфорта для человека.

Многие исследования были посвящены экспериментальной оценке теплового комфорта на основе критериев, предложенных О. Фангером (индекс комфортности - PMV и ожидаемый процент неудовлетворенных степенью комфорта – PPD) и стандартом статической модели ISO 7730.

В данной статье представлена модель оценки теплового комфорта для человека, на основе теории нейронных сетей и рассмотрена возможность ее применения в качестве инструмента для прогнозирования температурной чувствительности (ощущения) комфорта в помещении.

До сих пор, модели искусственных нейронных сетей (ИНС) успешно применялись в системах контроля ОВК и прогнозирования охлаждения / тепловой нагрузки в зданиях [8]. Тем не менее, лишь ограниченное число исследований было посвящено применению ИНС в оценке теплового комфорта. В работе [5] предложили практический подход для определения индекса PMV теплового комфорта с помощью нейронных вычислений в широком диапазоне параметров окружающей среды для системы управления ОВК.

В процессе анализа существующих решений было выявлено, что среда моделирования MATLAB является наиболее подходящим средством ввиду ее простоты в использовании, высокой скорости работы, а также наличия большого количества методических материалов по ее использованию [1].

Модель Фангера

П. О. Фангером была разработана модель, использующая уравнения теплового баланса и эмпирические исследования о температуре кожи. Модель основана на показателях PMV (прогнозируемая средняя оценка качества воздушной среды) и PPD (прогнозируемый процент недовольных температурой среды). С помощью показателя PMV, можно прогнозировать среднюю чувствительность к температуре, группы людей в помещении, на основе баланса температуры тела по 7-балльной шкале комфорта от -3 до 3 (таблица 1) [7].

Таблица 1

Значения показателя PMV в модели Фангера

Оценка в баллах	Ощущения человека
+3	Жарко
+2	Тепло
+1	Немного тепло
0	Нейтрально
-1	Немного прохладно
-2	Прохладно
-3	Холодно

Значение PMV равное нулю является идеальным. По показателю PPD, люди, которые голосовали по шкале комфорта за значение отличное от нуля, считаются недовольными. На основании проведенных экспериментов с участием 1300 человек, было установлено, что зона комфорта определяется комбинациями шести параметров, при которых доля недовольных температурой среды составляет 10 %, а PMV находится в рекомендуемых пределах ($-0,5 < PMV < +0,5$).

Современный вид формулы для расчета показателя PMV приведен в ГОСТ Р ИСО 7730-2009 [2]:

$$PMV = [0,303 \cdot e^{-0,0036M} + 0,028] \cdot \{[(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99(M - W) - p_a] - 0,42[(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} M(5867 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)]\} \quad (1)$$

где M – скорость обмена веществ, W – эффективная механическая энергия, f_{cl} – коэффициент площади поверхности одежды, t_a – температура воздуха, t_{cl} – температура поверхности одежды, \bar{t}_r – средняя температура излучения, h_c – коэффициент конвективного теплообмена, p_a – парциальное давление водяного пара.

Подготовка данных

За основу реализации алгоритма расчета позволяющего вычислять составляющие теплового баланса и индексы теплового комфорта в соответствии с положениями ИСО 7730 была взята расчетная программа, предложенная в ФГУП НИИ промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства [4]. Предложенный способ расчета был реализован в среде разработки Matlab. Входными данными для данного алгоритма являются температуры от 10 до 39 градусов с шагом в 1 градус. На выходе был получен одномерный массив содержащий значение индекса PMV для каждого градуса из входных данных. В таблице 2 представлен фрагмент полученных результатов.

Таблица 2

Результаты расчета индекса PMV

<i>Температура воздуха, °C</i>	<i>PMV, балл</i>
25	0,49
24	0,23
23	-0,01
22	-0,26
21	-0,51
20	-0,76

Согласно нормативному документу «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. СанПиН 2.2. 4.548-96» комфортными температурами в помещении в теплое время года являются 23–25 °С, а в холодное 22–24 °С. Как видно из таблицы 2, индексы комфортности полученные в результате работы алгоритма близки к значению зоны комфорта (от -0,5 до 0,5). Поэтому можно сделать вывод о корректности работы программы расчета индекса комфортности.

Создание сети

Создание оптимальной структуры математической модели нейронной сети в системе MATLAB представляет собой подбор такого соотношения количества слоев сети, количества нейронов в каждом слое, функции обучения сети и функции активации нейронов, при котором достигалось бы наименьшая погрешность. Для решения поставленной задачи требуется применение двухслойной сети [6, 9], в которой:

- нейроны первого слоя настроены на гиперболическую функцию активации – *tansig*;
- нейроны второго слоя настроены на линейную функцию активации – *pureline*.

Предварительные симуляции проводились путем изменения числа нейронов, используемых в первом слое, а также функции обучения. Соотношения количества нейронов входного слоя и функции обучения сети приводятся в таблице 3, в которую сведены результаты вычислительного эксперимента, полученные при проведении моделирования нейронных се-

тей с различным количеством нейронов в первом слое. Значением для сравнения является результат работы алгоритма по расчету индекса PMV для 24 градусоус, равный 0,2373.

Таблица 3

Результаты вычислительного эксперимента

Количество нейронов в первом слое	Функция обучения нейронной сети					
	trainlm		trainbr		trainscg	
	Индекс PMV на выходе нейронной сети и погрешность в %					
1	0,2317	2,47 %	0,2337	1,58 %	0,2379	0,21 %
10	0,2301	3,17 %	0,2379	0,21 %	0,1561	52,08 %
40	0,2374	0 %	0,2305	2,99 %	0,2382	0,33 %
60	0,2432	2,38%	0,2422	1,98 %	0,2465	3,69 %
100	0,2374	0 %	0,233	1,88 %	0,233	1,88 %

Функция trainlm обеспечивает наиболее быстрое обучение и наименьшую абсолютную погрешность [3]. Таким образом, для дальнейшей работы была выбрана нейронная сеть с количеством нейронов – 100 в первом слое и функцией обучения trainlm.

Для проверки ИНС на возможность прогнозирования внутри интервала расчетных температур, были подобраны значения температуры, которые отсутствовали в массиве обучающих данных. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты работы сети

Температура воздуха, °C	PMV, балл	Индекс PMV на выходе нейронной сети, балл	Погрешность, %
11,00	-2,8652	-2,8652	0 %
11,50	-2,7551	-2,3233	18,58 %
12,00	-2,6411	-2,6411	0 %
23,50	-0,2451	-0,2784	11,96 %
26,00	0,7585	0,7585	0 %
27,00	1,0250	1,025	0 %
27,03	1,1930	1,0030	18,94 %
30,87	2,2963	2,1422	7,19 %
38,99	4,8626	4,5770	6,231 %

Из таблицы 4 видно, что ИНС дает самый точный результат для температур, которые были использованы при ее обучении.

Сравнение индексов PMV с данными полученными в результате расчета по формуле из стандарта ИСО 7730 подтверждает применение обученных ИНС в качестве альтернативного инструмента для прогнозирования теплового ощущения внутри помещений; в частности.

Вывод: В этом исследовании искусственная нейронная сеть была обучена для того, чтобы смоделировать термальные ощущение в помеще-

нии. ИНС была обучена с учетом только одного входного параметра – температуры. В дальнейшем планируется модифицировать ИНС так, чтобы появилась возможность использовать несколько параметров (радиационная температура, относительная влажность воздуха, ветер и т. д.).

Средние значения PMV смоделированные с использованием ИНС очень близки к тем, что были получены с помощью реализации формулы, приведенной в стандарте ИСО 7730, во время экспериментального исследования. Результаты показали, что обученная ИНС прогнозировать тепловое ощущение без проведения экспериментальных исследований с помощью вопросников или дорогих контрольно-измерительных приборов, что может позволить сохранить время и деньги.

Список литературы

1. Бильгаева Л. П., Власов К. Г. Прогнозирование продаж в среде Matlab // Естественные и математические науки в современном мире: сб. ст. по матер. XLIX междунар. науч.-практ. конф. № 12 (47). Новосибирск : СибАК, 2016. С. 64–76.
2. ГОСТ Р ИСО 7730-2009 7790-2009. Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD.
3. Маслобоев Ю. П. Введение в Neural Network Toolbox» URL: <http://matlab.exponenta.ru/neuralnetwork/book2/11/newff.php> (дата обращения: 01.04.2017).
4. Сулин А. Б., Рябова Т. В., Рубцов А. К., Никитин А. А. Индексы теплового комфорта : учеб.-метод. пособие / под ред. А. Б. Сулина и Т. В. Рябовой. СПб. : Университет ИТМО, 2016. 36 с.
5. Atthajariyakul S., Leephakpreeda T., Neural computing thermal comfort index for HVAC systems // Energy Conversion and Management, 46 (2005). P. 2553–2565.
6. Buratti C., Vergoni M., Palladino D., Thermal comfort evaluation within non-residential environments: development of Artificial Neural Network by using the adaptive approach data, Energy Procedia 78 (2015). P. 287 –2880.
7. Fanger P. O. Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering // Danish Technical Press. 1970. P. 244.
8. Henze G. P., Hindman R. E. Control of air-cooled chiller condenser fans using clustering neural networks, ASHRAE Transactions 108 (2002). P. 4574.
9. Weiwei Liu, Zhiwei Lian*, Bo Zhao. A neural network evaluation model for individual thermal comfort // Energy and Buildings, 39 (2007). P. 1115–1122.

АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ВОЗМУЩЕНИЙ МНОГОСВЯЗНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ВЫХОДЕ

Ю. А. Лежнина¹, Ф. М. Кадиров²

¹Астраханский государственный

архитектурно-строительный университет

²Ташкентский университет информационных технологий (Узбекистан)

В данной работе разработан закон робастного управления многосвязными объектами с неизвестными параметрами. Объекты управления находятся под воздействием внешних и параметрических неконтролируемых