

Научная статья  
УДК 519.876.5:004.896  
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-1-22-32>

## Нечеткая логика и интеллектуальное управление инженерными системами зданий

*Саджад Аббасипаям<sup>1</sup>, Наталия Владиславовна Мокрова<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,  
Москва, Россия, [natali\\_vm@mail.ru](mailto:natali_vm@mail.ru)

**Аннотация.** Факторы потребления энергии в процессах: охлаждение, обогрев, кондиционирование воздуха, освещение здания – оказывают значительное влияние на энергозатраты. Интеллектуальные методы управления энергопотреблением позволяют модернизировать инженерные системы зданий, при этом использование искусственных нейронных сетей и нечеткой логики с целью минимизации потребления энергоресурсов особенно эффективно при эксплуатации зданий. В работе для управления энергопотреблением использована система нечеткого вывода Мамдани, в ходе исследований выбраны функции принадлежности гауссовой, треугольной и трапециевидной формы, программно реализованы типы и функции входов и выходов для подсистем управления инженерными системами. По входным и выходным параметрам спроектированы системы: освещения, смарт-окно, система отопления, вентиляции и кондиционирования; получены таблицы нечеткого вывода, выполнен графический анализ данных. Предложенные управляющие решения по реализации нечетких правил на основе лингвистических переменных позволяют адаптировать систему управления зданием к условиям окружающей среды, предотвратить чрезмерное потребление энергии. В исследовании обоснован выбор энергопотребляющих частей здания, при формировании управляющих воздействий применены правила нечеткой логики в функциональных диапазонах. Показано, что система нечеткого вывода вырабатывает решения в соответствии с изменяющимися входными данными, при этом реализовано интегрированное управление, проанализированы отклики систем освещения, отопления, вентиляции и кондиционирования в зависимости от функции принадлежности входов. Интенсивность окружающего света предложено контролировать с помощью датчиков движения, в том числе оптических. Показано, что полученные результаты позволяют добиться снижения энергопотребления освещения от 15 до 25 %, максимального использования внешнего света, обеспечения комфортного температурного режима, а также приводят к возможности реализации функций координированного и интегрированного управления.

**Ключевые слова:** система нечеткого вывода, потребление энергии, функция принадлежности, контроль температуры, световой режим, входные данные, смарт-окно, освещение

**Для цитирования:** Аббасипаям С., Мокрова Н. В. Нечеткая логика и интеллектуальное управление инженерными системами зданий // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 1. С. 22–32. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-1-22-32>.

Original article

## Fuzzy logic and intelligent control of engineering systems of buildings

*Sadjad Abbasipayam<sup>1</sup>, Natalia V. Mokrova<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup>Moscow State University of Civil Engineering,  
Moscow, Russia, [natali\\_vm@mail.ru](mailto:natali_vm@mail.ru)

**Abstract.** Energy consumption factors in the systems of cooling, heating, air conditioning and lighting in a building have a significant impact on the energy costs. Intelligent energy control methods help modernize the engineering systems of buildings, while using artificial neural networks and fuzzy logic for minimizing energy consumption is especially effective in the operation of buildings. To control energy consumption there was proposed the Mamdani fuzzy inference system, selected membership functions of Gaussian, triangular and trapezoidal shapes in the course of the research, implemented the types and functions of inputs and outputs for engineering systems control subsystems in software. According to the input and output parameters, the following systems were designed: lighting, smart window, HVAC; fuzzy inference tables were built, graphical data analysis was performed. The proposed control solutions for the implementation of fuzzy rules based on linguistic variables make it possible to adapt the building management system to environmental conditions and prevent excessive energy consumption. The study substantiates the choice of energy-consuming parts of the building; when forming control actions, fuzzy logic rules are applied in functional

ranges. The fuzzy inference system was shown to generate the solutions in accordance with changing input data, integrated control is implemented, the responses of lighting, heating, ventilation and air conditioning systems are analyzed depending on the input membership function. It is proposed to control the intensity of ambient light using motion sensors, including optical ones. It is shown that the results obtained make it possible to achieve a reduction in lighting energy consumption by 15 - 25%, maximum use of external light, ensuring a comfortable temperature regime, and also lead to implementing the coordinated and integrated control functions.

**Keywords:** fuzzy inference system, power consumption, membership function, temperature control, light mode, input data, smart window, lighting

**For citation:** Abbasipayam S., Mokrova N. V. Fuzzy logic and intelligent control of engineering systems of buildings. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics.* 2022;1:22-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-1-22-32>.

## Введение

Энергопотребление – один из важных факторов, который учитывается инженерами на этапе проектирования здания, что позволяет говорить о снижении затрат на эксплуатацию здания и экономии энергоресурсов. Поскольку электроэнергия необходима многим устройствам, поддержание и управление потреблением энергии этого вида является приоритетом.

В этой статье поставлена задача оценить энергопотребление инженерных систем здания и предложить метод управления на основе моделирования динамического поведения подсистем и определения их основных параметров, каждый из которых управляется с помощью нечеткого контроллера. Согласно [1], использование гауссовой функции принадлежности обеспечивает более стабильные условия и большую управляемость.

Исследуя методы управления инженерным оборудованием здания, рассмотрим подсистемы охлаждения и обогрева, системы освещения и системы умных окон, наконец, представим метод нечеткого управления и создавая нечеткие правила с целью создания механизма нечеткого вывода, рассмотрим контроль параметров в части создания интегрированной системы управления.

## Анализ методов управления и автоматизации зданий

Анализ эффективных факторов потребления энергии в таких процессах, как охлаждение, обогрев, кондиционирование воздуха и освещение здания, оказывает значительное влияние на оптимизацию ее потребления. Около двух десятилетий назад 25 % всей энергии, необходимой для обогрева и охлаждения жилых и коммерческих помещений в США, терялось через окна [2]. Современные технологии производства и эксплуатации оконных систем позволяют избежать потерь энергии. Помимо предотвращения потерь энергии оконные системы дополняют естественную способность наружного пространства здания в целях использования для обеспечения света в определенные часы дня. Panjaitan и др. [3] показали, что системы управления освещением могут снизить энергопотребление в среднем на 30 %. Системы управления

освещением используют датчики для обнаружения людей, обеспечивают возможности планирования и регулирования количества потребляемой электроэнергии [4]. Технология системы управления освещением подразумевает автоматическое включение/выключение источников искусственного освещения, а также ручное управление [5]. В исследованиях управления освещением можно упомянуть различные приложения, например в дорожном туннеле [6, 7]. Авторы [8] представляют технологии управления освещением в контексте сетей управления освещением. Newsham и др. указывают, что использование диммеров позволяет снизить потребление энергии до 30 % по сравнению с обычными методами управления с лампами того же типа [9, 10]. Как правило, системы управления энергопотреблением реализуют свои функции, уменьшая интенсивность света или сокращая продолжительность его использования [11]. Использование искусственных нейронных сетей, а также нечеткой логики с целью управления и оптимизации энергоресурсов рассмотрены в [12, 13]. В исследовании Argiriou и др. [14], разработали регулятор температуры на основе искусственных нейронных сетей. В [4] рассмотрен симулятор Dialux с использованием нечеткой логики. В этом исследовании интенсивность окружающего света контролируется с помощью датчиков движения и оптических датчиков, а также путем создания нечеткой функции принадлежности. Moon и др. [15] демонстрируют инструментальный нейронной сети для создания конструкции, обеспечивающей тепловой комфорт в жилых домах. В 2010 г. Dombausi и др. [16] представили функцию нейронной сети для прогнозирования системы отопления. Также Jovanovic и др. [17] представили прогноз энергопотребления в здании с использованием искусственной нейронной сети. В 2015 г. Saglam и его коллеги в лабораторных условиях использовали три группы люминесцентных ламп, чтобы определить как нечеткую принадлежность четыре уровня освещения [18]. Классические системы управления, использующие диммеры непрерывного действия, имеют такие проблемы, как быстрое изменение дневного света [19]. Подсистема HVAC (Heating, ventilation, and air conditioning – отопле-

ние, вентиляция и кондиционирование (ОВиК)), отвечающая за охлаждение и нагрев, имеет сложное моделирование из-за нелинейного регулирования температуры [19, 20]. Следовательно, существуют разные модели для контроля температуры, такие как нулевой и единичный контроль и модели контроля PID [21]. Mongkolwongrojn и его коллеги реализовали правила нечеткой логики для системы вентиляции [22]. Abduljabar и др. в [23] также использовали нечеткую логику для управления системой водяного отопления и охлаждения в системе кондиционирования воздуха. Wang использует двухступенчатую систему согласования температурного контроля для системы электрического нагревателя [24].

Использование нечетких систем управления, по сравнению с традиционными моделями управления, в силу своей природы может быть гораздо

более практичным и иметь более реалистичное понимание системы и ее параметров управления [22, 25].

Задача выбора методов управления энергоресурсами остро стоит в сфере промышленного производства и городского хозяйства [26]. Предложен алгоритм, обеспечивающий снижение энергоемкости процессов водоснабжения, который включает процессы сбора, моделирования, структурирования информации, а также выработки оптимального решения для предприятия, рассмотрены программные продукты для реализации решений по энергосбережению.

### Методы нечеткой логики в системах управления

Основные части системы нечеткого вывода показаны на рис. 1.

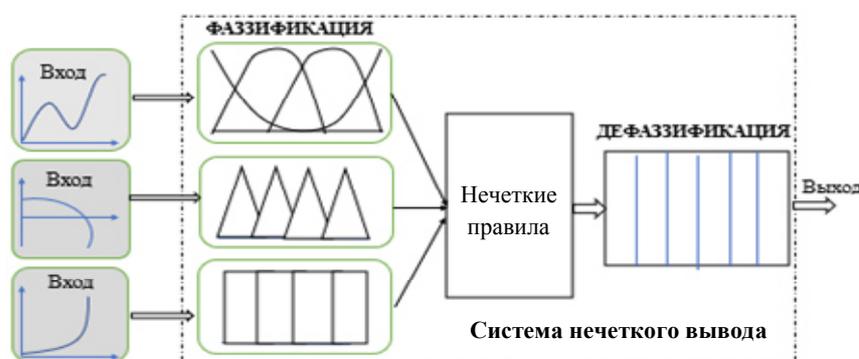


Рис. 1. Структура контроллера нечеткой логики

Fig. 1. Fuzzy logic controller structure

По своей структуре нечеткая модель состоит из 5 частей [27]: база данных, база правил, блок принятия решений, фаззификация и дефаззификация.

Контроллер требует предоставления всей информации, необходимой для формирования таблицы нечетких правил. Выбор данных может быть изменен в соответствии с характеристиками кон-

кретного объекта; в данном случае рассматривается общий случай (жилое помещение). Выбрана система нечеткого вывода Мамдани с гауссовой, треугольной и трапециевидной функциями принадлежности. В табл. 1 представлены типы и функции входов и выходов для подсистемы освещения.

Таблица 1

Table 1

#### Описание системы освещения

#### The specification of the lighting system

Вход системы освещения (люкс)	Выход системы освещения
Пользовательский режим: имеет 4 трапециевидных функции принадлежности [0-300 lx] (sleep, normal, rest, night)	Интенсивность света [0_300 lx] Имеет 17 треугольных функций принадлежности
Датчик посещаемости: имеет 4 трапециевидных функции принадлежности [0_10] (empty, little, medium, many)	
Датчик внутреннего освещения: имеет 3 функции принадлежности по Гауссу [0-300 lx] (morning, afternoon, night)	
Датчик наружного освещения: имеет 3 функции принадлежности по Гауссу [0-300 lx] (high, medium, low)	

Данные этой таблицы используются для получения ответов системы освещения здания при реализации нечеткого управления.

В табл. 2 представлены типы, входные и выходные функции принадлежности подсистемы ОВиК.

Таблица 2

Table 2

**Описание системы ОВиК**  
**The specification of the HVAC system**

Системный ввод (ОВиК)	Системный вывод (ОВиК)
Дневной и ночной статус: имеет 3 функции принадлежности по Гауссу [0_300 lx] (night, morning, afternoon)	Скорость серводвигателя [0_1000 rpm]. Имеет 10 трапециевидных функций принадлежности
Наружная температура: имеет 3 треугольные функции принадлежности [-15_40 °C] (cold, normal, warm)	
Влажность: имеет 3 трапециевидных функции принадлежности [0_100 %] (low, normal, high)	
Температура в помещении: имеет 6 треугольных функций принадлежности [-15_40 °C] (very cold, cold, cool, normal, warm, hot)	

Реакция этой системы в конечном итоге приводит к регулировке шагов серводвигателя в диапазоне от 0 до 90 °С.

В табл. 3 представлены типы и функции входа/выхода для подсистемы интеллектуального окна.

Выходные сигналы системы ОВиК имеют три состояния: охлаждение, нагрев и вентилятор в нормальном режиме.

Таблица 3

Table 3

**Описание системы «смарт-окно»**  
**The specification of the Smart Window system**

Система ввода «смарт-окно»	Система вывода «смарт-окно»
Датчик посещаемости: имеет 2 трапециевидные функции принадлежности [0, 1] (absence, presence)	Степень открывания окон (жалюзи) [0_90°] Имеет 10 трапециевидных функций принадлежности
Уровень внутреннего освещения: имеет 5 функций принадлежности по Гауссу [0-300 lx] (very low, low, medium, high, very high)	
Уровень наружного освещения: имеет 6 функций принадлежности по Гауссу [0-300 lx] (night, cloudy, foggy, morning, afternoon, sunny)	

На рис. 2 показана схема процесса генерации сигналов управления и ответа, полученного от каждой из подсистем.

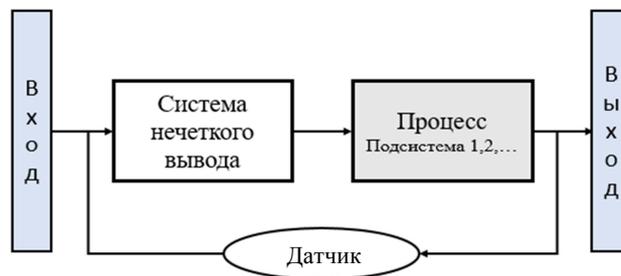


Рис. 2. Схема системы управления с обратной связью

Fig. 2. Diagram of the feedback control system

Ниже приводится описание подсистемы окна, включая входы и выходы, а также функции принадлежности и нечеткие правила. На рис. 3, а, б

показан пример функций принадлежности для первого ввода и конечного вывода для подсистемы «смарт-окно».

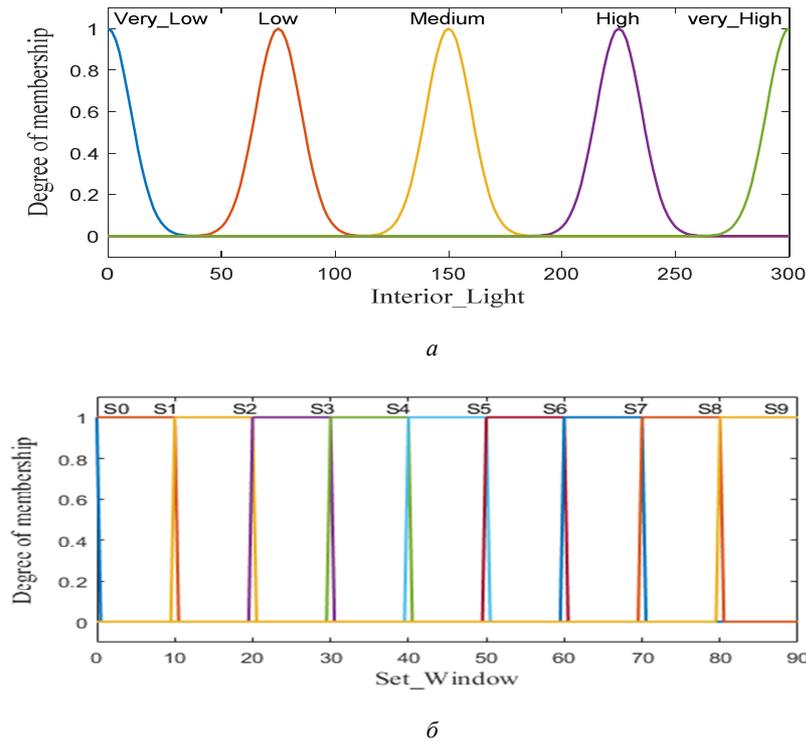


Рис. 3. Функции принадлежности подсистемы «смарт-окно»: *а* – функции принадлежности первого входа; *б* – выходные функции принадлежности

Fig. 3. Membership functions the smart window subsystem: *a* – membership functions of the first input; *b* – output membership functions

Как можно видеть, для определения функций принадлежности, в соответствии с природой входных и выходных параметров, функция принадлежности по Гауссу используется для первого ввода (рис. 3, *а*), а функция принадлежности прямоугольной формы используется для вывода (рис. 3, *б*), что включает в себя 3 входа с 13-ю функциями принадлежности и один выход с 10-ю функциями принадлежности. Шаги для определения параметров каждой подсистемы в соответствии с методом

идентификации системы представлены в [28]. Моделирование выполнено в программном обеспечении Matlab и в среде m-file.

В табл. 4 настройки, относящиеся к разработке нечетких правил, включая методы совместного использования и агрегирования, методы сложения и умножения, дефаззификации, а также количество входов, выходов и количество правил, показаны для подсистемы смарт-окно.

Таблица 4

Table 4

**Спецификации системы нечеткого вывода «смарт-окно»**

**Specifications of the “smart window” fuzzy output system**

Метод (And)	"min"
Метод (Or)	"max"
Метод импликации	"min"
Метод агрегирования	"max"
Метод дефаззификации	"centroid"
Количество входов	[1 × 3]
Количество выходов	[1 × 1]
Количество правил	[1 × 60]

Все возможные правила разработаны исходя из количества входов, их назначения в соответствии с требованиями нечеткой логики.

Как показано в табл. 4, 60 нечетких правил реализованы для всех возможных состояний подсистемы «смарт-окно».

В табл. 5 показаны все нечеткие правила, предложенные для подсистемы «смарт-окно».

Разработка нечетких правил «смарт-окно»  
 Development of fuzzy “smart window” rules

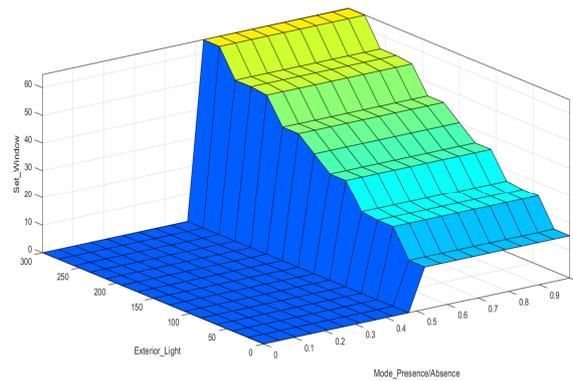
Exterior light sensor	Internal light sensor									
	Very high		High		Medium		Low		Very low	
Sensor mode	Off	On	Off	On	Off	On	Off	On	Off	On
Sunny	0	5	0	6	0	7	0	8	0	9
Afternoon	0	4	0	5	0	6	0	7	0	8
Morning	0	3	0	4	0	5	0	6	0	7
Foggy	0	2	0	3	0	4	0	5	0	6
Cloudy	0	1	0	2	0	3	0	4	0	5
Night	0	0	0	1	0	2	0	3	0	4

Вес каждого правила считается равным единице.

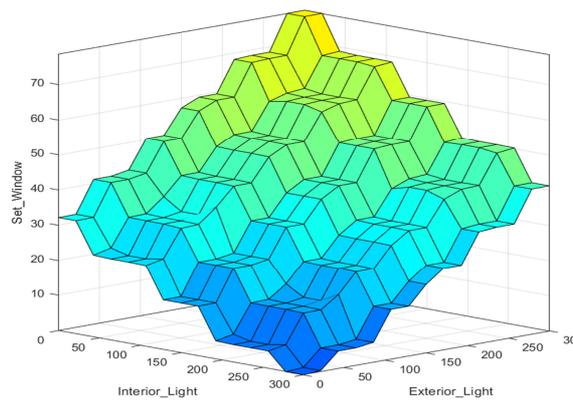
**Результаты моделирования**

Перейдем к верификации результатов моделирования нечеткой системы управления для каждой из выделенных подсистем. Чтобы достичь наглядности отображения результатов в трехмерной модели, рас-

сматриваем отображение каждого выхода с двумя отдельными входами. Моделирование оконной подсистемы с двумя внутренними световыми входами и датчиком для обнаружения присутствия людей и одним выходом – положение вращения серводвигателя показано на рис. 4, а, а с входами – внутреннее и внешнее освещение с тем же выходом – на рис. 4, б.



а



б

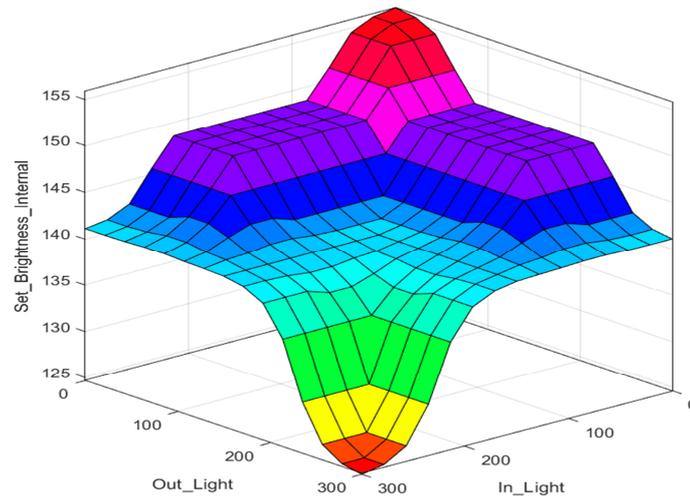
Рис. 4. Подсистемы смарт-окно: а – с внешним световым входом и датчиком присутствия; б – с внешним световым входом и внутренним светом

Fig. 4. Subsystems smart window: а – with external light input and a presence sensor; б – with an external light input and an internal light

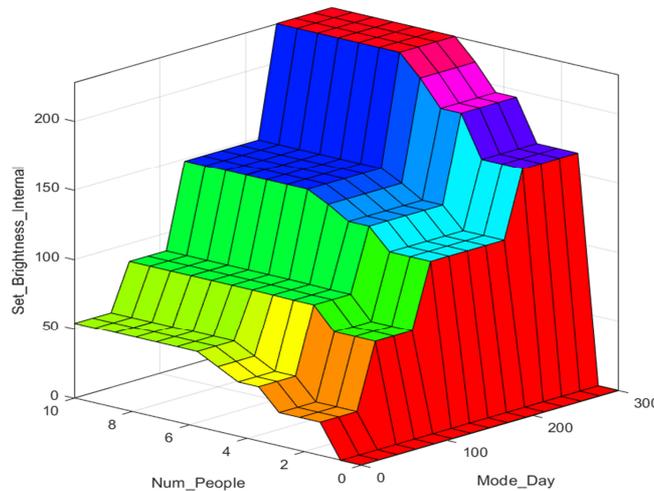
На рис. 4, *a* очевидно, что система начинает работать только в присутствии людей, что снижает потребление электроэнергии в их отсутствие (темное плато). На рис. 4, *b* увеличение интенсивности цвета демонстрирует использование наименьшего количества наружного света, и открытие смарт-окна (в режиме 90°) указывает на то, что количе-

ство внутреннего света максимально и больше всего света поступает извне (солнечная погода).

Диаграмма на рис. 5 моделирует уровни подсистемы внутреннего освещения с тремя входами в пользовательском режиме – интенсивностью наружного освещения и датчиком присутствия с выходным сигналом – интенсивность внутреннего освещения от 0 до 300 люкс (шаг изменения – 20 люкс).



*a*



*b*

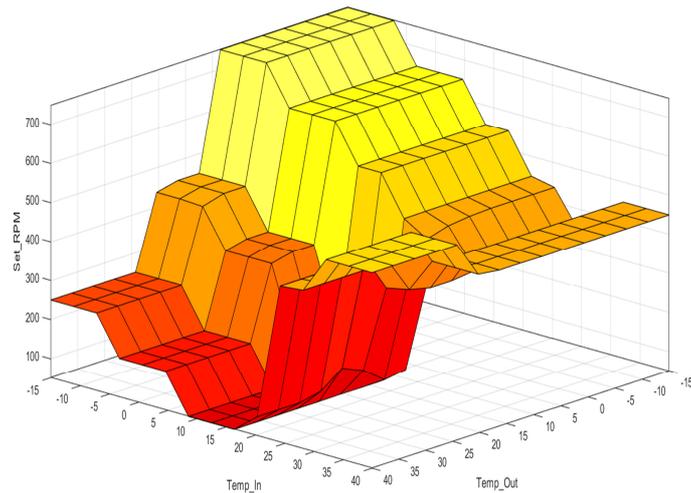
Рис. 5. Подсистемы освещения, с двумя входами: *a* – внешнего и внутреннего света; *b* – количество людей и пользовательский режим

Fig. 5. Lighting subsystems with two inputs: *a* – an external and internal light; *b* – the number of people and a user mode

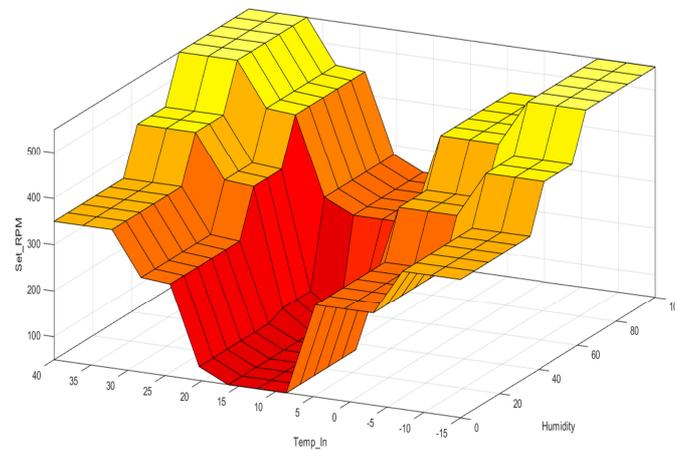
На рис. 5, *a* в нижней части диаграммы уровень затемнения указывает на дневной режим, который переводит систему в режим слабого и среднего освещения, он постепенно активизируется при переходе к графику ночного режима, и система выходит на высший световой режим. На рис. 5, *b* пока-

зано, что при отсутствии в помещении человека мощность системы равна нулю. По мере увеличения количества людей, присутствующих в зоне, интенсивность света увеличивается.

На рис. 6 показано моделирование поверхностной диаграммы подсистемы ОВиК.



*a*



*б*

Рис. 6. Подсистемы ОВиК с двумя входами: *a* – температура внутри и снаружи; *б* – внутренняя температура и влажность

Fig. 6. HVAC subsystems with two inputs: *a* – temperature inside and outside; *б* – indoor temperature and humidity

На рис. 6, *a* показан отклик системы контроля температуры для двух входов: внутренней и наружной температуры. В соответствии с рис. 6, *a*, ориентируясь по состоянию внутренней и наружной температуры, при превышении нормального температурного предела система контроля температуры выбирает один из режимов: нагрева, охлаждения или только работу вентилятора. В ситуации, когда температура в помещении и на улице очень низкая или очень высокая, скорость отклика системы контроля температуры максимальна. На рис. 6, *б* показан отклик системы для двух входов: температуры и влажности внутри и выхода – контроля температуры. В случае, когда влажность воздуха увеличивается или уменьшается по сравнению с нормальной (40–60 %) при соответствующей температуре в помещении, система выдает соответствующий отклик.

### Заключение

Предложенная система интеллектуального управления энергопотреблением здания может принимать в качестве входных переменных данные о состоянии инженерных систем здания, в том числе в соответствии с его расположением и внешними условиями, поэтому обладает гибкостью и предлагает стабильный ответ благодаря свойствам нечетких систем и функции принадлежности по Гауссу.

По сравнению с источниками [2] и [14], полученные результаты показывают снижение количества энергии, необходимой для системы освещения (уменьшение энергии до 25 %), а также по сравнению с [17, 18] (уменьшение энергии до 15 %), что показывает их эффективность при эксплуатации зданий. Использование интеллектуальной оконной

системы позволяет максимально использовать внешний свет, в частности для внутренней части здания. Система управления расширяет возможности охвата более широкого и полного диапазона входных данных и демонстрирует хорошую чувствительность и реакцию на их изменение (см. рис. 4–6). Следует отметить, что входные данные могут

одновременно изменяться в функциональных диапазонах, например, в результате погодных изменений, и происходит настройка нечеткого контроллера, что помимо повышения точности создает возможности реализации функций скоординированного и интегрированного управления.

#### Список источников

1. Sivakumar R. V., Kamakshi P. V., Jiacun Wang J., Reddy K. T. V. Soft Computing and Signal Processing // Proceedings of 3rd ICSCSP 2020. Springer, 2021. V. 1. DOI:10.1007/978-981-15-2475-2.
2. Singh I., Michaelowa A. Indian Urban Building Sector: CDM Potential through Energy Efficiency in Electricity Consumption // SSRN Electronic Journal. August 2004. DOI:10.2139/ssrn.576001.
3. Panjaitan S. D., Hartoyo A. Lighting Control System in Buildings based on Fuzzy Logic // Telkomnika. December 2011. V. 9. N. 3. P. 423–432.
4. Cziker A., Chindris M., Miron A. Fuzzy controller for indoor lighting system with daylighting contribution // URL: [https://www.emo.org.tr/ekler/1e7fea7f69ef687\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/1e7fea7f69ef687_ek.pdf) (дата обращения: 20.10.2021).
5. Doulos L., Tsangrassoulis A., Topalis F. V. Evaluation of Lighting Controls in Office Buildings // 6<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Circuits, Systems, Electronics, Control & Signal Processing, Cairo, Egypt, Dec. 29–31, 2007. P. 69–77. URL: [https://www.researchgate.net/publication/267699771\\_Evaluation\\_of\\_lighting\\_controls\\_in\\_office\\_buildings](https://www.researchgate.net/publication/267699771_Evaluation_of_lighting_controls_in_office_buildings) (дата обращения: 20.10.2021).
6. Jiang W., Jiang Y., Ren H. Analysis and Prospect of Control System for Stage Lighting // Conference: Image and Signal Processing (CISP), 2010 3<sup>rd</sup> International Congress on Volume: 8 Yantai, 2010. November 2010. SourceIEEE Xplore. P. 3923–3928. DOI:10.1109/CISP.2010.5647570.
7. Yong Y., Zuojun B., Chunzheng Z., Lei W. Study on the Mesopic Vision Theory used in Road Tunnel Lighting Measurement // 3<sup>rd</sup> IEEE Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA) (Sanghai). January 2011. P. 565–567. DOI:10.1109/ICMTMA.2011.711.
8. Cheng C. A., Cheng H. L., Lin K. J., Chu K. L., Yen C. H. A Digitally Wireless Dimmable Lighting System for Two-Are Fluorescent Lamps // Technical Conference (TENCON) IEEE Region 10 (Fukuoka). 2010. P. 2173–2178.
9. Yan W., Hui S. Y. R. Dimming Characteristics of Large-scale High-Intensity-Discharge (HID) Lamp Lighting Networks using a Central Energy-Saving System // IEEE Industry applications conference 41<sup>st</sup> IAS Annual meeting (Tampa). 2006. P. 1090–1098.
10. Newsham G. R., Aries M. B. C., Mancini S., Faye G. Individual control of electric lighting in a daylight space // Lighting Research and Technology. 2008. N. 40 (1). P. 25–41.
11. Rea M. S. IESNA Lighting Handbook. NY: Illuminating Engineering Society of North America, 2000. 1037 p.
12. Jin M., Ho M. LabVIEW-based Fuzzy Controller Design of a Lighting Control System // Journal of marine science and technology. 2009. N. 17 (2). P. 116–121.
13. Cziker A., Chindris M., Miron A. Implementation of Fuzzy Logic in Daylighting Control // IEEE Conference on Intelligent Engineering Systems (INES), Budapest, 2007. P. 195–200.
14. Argiriou A. A., Bellas Velidis I., Balaras C. A. Development of a neural network heating controller for solar buildings // Neural Networks. 2000. N. 13. P. 811–820.
15. Moon J., Jung W., Kim S. K. Application of ANN (Artificial Neural Network) in residential thermal control // IBPSA. Proceeding of Eleventh International IBPSA Conference. July 27–30, Scotland, 2009. P. 64–71.
16. Dombayci Ö. A. The prediction of heating energy consumption in a model house by using artificial neural networks in Denizli–Turkey // Advances in Engineering Software. 2010. N. 41 (2). P. 141–147.
17. Jovanovic R., Aleksandra Z., Sretenovic A., Zivkovic B. D. Ensemble of various neural networks for prediction of heating energy consumption // Energy and Buildings. 2015. N. 94. P. 189–199.
18. Saglam S., Oral B. Modern Lighting Sources and Controls for Energy Efficient Lighting and a Smart Control Algorithm Application // WSEAS transactions on systems. 2010. Iss. 10. V. 9. P. 1098–1108.
19. Tang J. A. Dynamic System Model Validation Scheme with Fuzzy Logic Techniques // In Proceedings of the 10<sup>th</sup> ICALEPCS Int. Conf. on Accelerator & Large Expt. Physics Control Systems (Geneva, 10–14 Oct 2005). 2005. P. 45–51.
20. Othman M. F., Othman S. M. Fuzzy Logic Control for Non-Linear Car Air Conditioning // Elektriika. 2006. V. 8. N. 2. P. 38–45.
21. Hanamane M. D., Mudholkar R. R., Jadhav B. T., Sawant S. R. Implementation of Fuzzy Temperature control Using Microprocessor // Journal of Scientific and Industrial Research. 2006. V. 65. Iss. 3. P. 142–147.
22. Mongkolwongrojn M., Sarawit V. Implementation of Fuzzy Logic Control for Air Conditioning Systems // Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Control, Automation and Systems. 2005. P. 313–321.
23. Abduljabar Z. A. Simulation and Design of Fuzzy Temperature Control for Heating and Cooling Water System // International Journal of Advancements in Computing Technology. 2011. P. 41–48.
24. Wang C., Lin C., Lee B., Liu C. J., Su C. Adaptive Two-Stage Fuzzy Temperature Control for an Electro heat System // International Journal of Fuzzy Systems. 2009. V. 11. N. 1. P. 59–66.
25. Malhotra R., Singh N., Singh Y. An Efficient Fuzzy-GA Flow Control of Turbine Compressor System: A Process Control Case Study // International Journal of Advancements in Computing Technology. 2010. V. 2. N. 4. P. 128–139.
26. Ларионов В. Г., Трейман М. Г. Интеллектуальное управление энергопотреблением на водопроводных станциях на примере филиала «Водоснабжение» ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Экономика. 2020. № 4. С. 7–14.
27. Hassanniakalager A., Sermpinis G., Stasinakis C., Verousis Th. A conditional fuzzy inference approach in forecasting // Production, Manufacturing, Transportation and Logistics, European Journal of Operational Research. 2020. V. 283. Iss. 1. P. 196–216.
28. Аббасиям С., Мокрова Н. В. Использование нейронной сети персептрона для определения параметров промышленной системы // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 4 (34). С. 106–111.

## References

1. Sivakumar R. V., Kamakshi P. V., Jiacun Wang J., Reddy K. T. V. Soft Computing and Signal Processing. *Proceedings of 3rd ICSCSP 2020*. Springer, 2021. Vol. 1. DOI:10.1007/978-981-15-2475-2.
2. Singh I., Michaelowa A. Indian Urban Building Sector: CDM Potential through Energy Efficiency in Electricity Consumption. *SSRN Electronic Journal*, August 2004. DOI:10.2139/ssrn.576001.
3. Panjaitan S. D., Hartoyo A. Lighting Control System in Buildings based on Fuzzy Logic. *Telkomnika*, December 2011, vol. 9, no. 3, pp. 423-432.
4. Cziker A., Chindris M., Miron A. *Fuzzy controller for indoor lighting system with daylighting contribution*. Available at: [https://www.emo.org.tr/ekler/1e7fea7f69ef687\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/1e7fea7f69ef687_ek.pdf) (accessed: 20.10.2021).
5. Doulos L., Tsangrassoulis A., Topalis F. V. Evaluation of Lighting Controls in Office Buildings. *6th WSEAS International Conference on Circuits, Systems, Electronics, Control & Signal Processing*, Cairo, Egypt, Dec. 29-31, 2007. Pp. 69-77. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/267699771\\_Evaluation\\_of\\_lighting\\_controls\\_in\\_office\\_buildings](https://www.researchgate.net/publication/267699771_Evaluation_of_lighting_controls_in_office_buildings) (accessed: 20.10.2021).
6. Jiang W., Jiang Y., Ren H. Analysis and Prospect of Control System for Stage Lighting. *Conference: Image and Signal Processing (CISP), 2010 3rd International Congress on Volume: 8 Yantai, 2010*. November 2010. SourceIEEE Xplore. Pp. 3923-3928. DOI:10.1109/CISP.2010.5647570.
7. Yong Y., Zuojun B., Chunzheng Z., Lei W. Study on the Mesopic Vision Theory used in Road Tunnel Lighting Measurement. *3rd IEEE Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA) (Sanghai)*. January 2011. Pp. 565-567. DOI:10.1109/ICMTMA.2011.711.
8. Cheng C. A., Cheng H. L., Lin K. J., Chu K. L., Yen C. H. A Digitally Wireless Dimmable Lighting System for Two-Are Fluorescent Lamps. *Technical Conference (TENCON) IEEE Region 10 (Fukuoka)*, 2010. Pp. 2173-2178.
9. Yan W., Hui S. Y. R. Dimming Characteristics of Large-scale High-Intensity-Discharge (HID) Lamp Lighting Networks using a Central Energy-Saving System. *IEEE Industry applications conference 41st IAS Annual meeting (Tampa)*, 2006. Pp. 1090-1098.
10. Newsham G. R., Aries M. B. C., Mancini S., Faye G. Individual control of electric lighting in a daylight space. *Lighting Research and Technology*, 2008, no. 40 (1), pp. 25-41.
11. Rea M. S. *IESNA Lighting Handbook*. NY, Illuminating Engineering Society of North America, 2000. 1037 p.
12. Jin M., Ho M. LabVIEW-based Fuzzy Controller Design of a Lighting Control System. *Journal of marine science and technology*, 2009, no. 17 (2), pp. 116-121.
13. Cziker A., Chindris M., Miron A. Implementation of Fuzzy Logic in Daylighting Control. *IEEE Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, Budapest, 2007. Pp. 195-200.
14. Argiriou A. A., Bellas Velidis I., Balaras C. A. Development of a neural network heating controller for solar buildings. *Neural Networks*, 2000, no. 13, pp. 811-820.
15. Moon J., Jung W., Kim S. K. Application of ANN (Artificial Neural Network) in residential thermal control. *IBPSA. Proceeding of Eleventh International IBPSA Conference*. July 27-30, Scotland, 2009. Pp. 64-71.
16. Dombaycı Ö. A. The prediction of heating energy consumption in a model house by using artificial neural networks in Denizli-Turkey. *Advances in Engineering Software*, 2010, no. 41 (2), pp. 141-147.
17. Jovanovic R., Aleksandra Z., Sretenovic A., Zivkovic B. D. Ensemble of various neural networks for prediction of heating energy consumption. *Energy and Buildings*, 2015, no. 94, pp. 189-199.
18. Saglam S., Oral B. Modern Lighting Sources and Controls for Energy Efficient Lighting and a Smart Control Algorithm Application. *WSEAS transactions on systems*, 2010, iss. 10, vol. 9, pp. 1098-1108.
19. Tang J. A Dynamic System Model Validation Scheme with Fuzzy Logic Techniques. *In Proceedings of the 10th ICALEPCS Int. Conf. on Accelerator & Large Expt. Physics Control Systems (Geneva, 10-14 Oct 2005)*, 2005. Pp. 45-51.
20. Othman M. F., Othman S. M. Fuzzy Logic Control for Non-Linear Car Air Conditioning. *Elektrika*, 2006, vol. 8, no. 2, pp. 38-45.
21. Hanamane M. D., Mudholkar R. R., Jadhav B. T., Sawant S. R. Implementation of Fuzzy Temperature control Using Microprocessor. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 2006, vol. 65, iss. 3, pp. 142-147.
22. Mongkolwongrojn M., Sarawit V. Implementation of Fuzzy Logic Control for Air Conditioning Systems. *Proceedings of the 8th International Conference on Control, Automation and Systems*, 2005, pp. 313-321.
23. Abduljabar Z. A. Simulation and Design of Fuzzy Temperature Control for Heating and Cooling Water System. *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 2011, pp. 41-48.
24. Wang C., Lin C., Lee B., Liu C. J., Su C. Adaptive Two-Stage Fuzzy Temperature Control for an Electro heat System. *International Journal of Fuzzy Systems*, 2009, vol. 11, no. 1, pp. 59-66.
25. Malhotra R., Singh N., Singh Y. An Efficient Fuzzy-GA Flow Control of Turbine Compressor System: A Process Control Case Study. *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 2010, vol. 2, no. 4, pp. 128-139.
26. Larionov V. G., Treiman M. G. Intellektual'noe upravlenie energopotrebleniem na vodoprovodnykh stantsiiakh na primere filiala «Vodosnabzhenie» GUP «Vodokanal Sankt-Peterburga» [Intelligent management of energy consumption at water supply stations on the example of the branch "Water Supply" SUE "Vodokanal of St. Petersburg"]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika*, 2020, no. 4, pp. 7-14.
27. Hassanniakalager A., Sermpinis G., Stasinakis C., Verousis Th. A conditional fuzzy inference approach in forecasting. *Production, Manufacturing, Transportation and Logistics, European Journal of Operational Research*, 2020, vol. 283, iss. 1, pp. 196-216.
28. Abbasipaiam S., Mokrova N. V. Ispol'zovanie neironnoi seti perseptrona dlia opredeleniia parametrov promyshlennoi sistemy [Using perceptron neural network to determine parameters of industrial system]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiia*, 2020, no. 4 (34), pp. 106-111.

Статья поступила в редакцию 27.10.2021; одобрена после рецензирования 22.11.2021; принята к публикации 24.01.2022  
The article is submitted 27.10.2021; approved after reviewing 22.11.2021; accepted for publication 24.01.2022

**Информация об авторах / Information about the authors**

**Саджад Аббасипаям** – аспирант кафедры автоматизации и электроснабжения; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; Москва, Ярославское шоссе, 26; mechsmart@yahoo.com

**Sadjad Abbasipayam** – Postgraduate Student of the Department of Automation and Power Supply; National Research Moscow State University of Civil Engineering; Moscow, the Yaroslavskoe shosse, 26; mechsmart@yahoo.com

**Наталья Владиславовна Мокрова** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой автоматизации и электроснабжения; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; Москва, Ярославское шоссе, 26; natali\_vm@mail.ru

**Nataliya V. Mokrova** – Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Automation and Power Supply; National Research Moscow State University of Civil Engineering; Moscow, the Yaroslavskoe shosse, 26; natali\_vm@mail.ru

