

# ПРАКТИЧЕСКОЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

## PRACTICAL IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT MICROCLIMATE CONTROL IN RESIDENTIAL PREMISES

*Al-Dumaini Omar Ahmed Hazaea Shaif  
M. Gordeev-Burgwitz*

*Summary.* The article presents current aspects of solving problems and developing methods for the practical implementation of intelligent microclimate control in residential premises. This study is devoted to the principles of forming an intelligent control system that allows monitoring the microclimate in residential premises based on the preferences of citizens living in them and, accordingly, ensuring resource efficiency and energy saving in space. The article contains characteristics of an intelligent microclimate control system in residential premises. The solution of the above aspects requires the development of three issues in the context of the study: characteristics of the intelligent microclimate control system in residential premises; practical implementation of the element of logical inference and creation of information for intelligent microclimate control in residential premises; analysis of the practical implementation of intelligent microclimate control in residential premises.

*Keywords:* intelligent control system, microclimate, living quarters, element of logical inference and information creation, practical implementation, resource efficiency, energy saving.

*Аль-Думайни Омар Ахмед Хазаеа Шаиф*  
аспирант, Московский государственный  
строительный университет, г. Москва  
aomar3909@gmail.com

*Гордеев-Бургвиц Михаил Алексеевич*  
изобретатель СССР, доктор-инженер ФРГ  
dr.gordeev@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлены актуальные аспекты решения задач и проработки методов практического осуществления интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях. Данное исследование посвящено принципам формирования системы интеллектуального управления, позволяющей контролировать микроклимат в жилых помещениях на базе предпочтений проживающих в них граждан и, соответственно, обеспечивать ресурсоэффективность и энергосбережение в пространстве. Статья содержит характеристики системы интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях. Решение приведенных аспектов требует проработки трёх вопросов в контексте исследования: характеристика системы интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях; практическое осуществление элемента логического вывода и создания информации для интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях; анализ практического осуществления интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях.

*Ключевые слова:* система интеллектуального управления, микроклимат, жилые помещения, элемент логического вывода и создания информации, практическое осуществление, ресурсоэффективность, энергосбережение.

### Введение

Существующие в настоящее время системы управления микроклиматом в жилых помещениях не представляется возможным использовать без компонентов автоматизации процессов. Практическое применение таких элементов (блоков) способствует оптимизации функционирования специализированного оборудования, предназначенного для поддержания комфортного микроклимата, сокращению эксплуатационных затрат путём снижения потребления электроэнергии [2], [3].

Потребность в снижении потребления энергетических и материальных ресурсов определяется планомерно нарастающим трендом к увеличению цены на них, соответственно, нужно экономить эти виды ресурсов [1], [5]. В современных системах управления микроклиматом появляется необходимость в практическом применении энергосберегающих инновационных средств, осуществлении разных мер организационно-техниче-

ского характера. В контексте таких мер выделяется процессы, которые можно автоматически контролировать по показателю температуры в течение суток, одной недели, одного месяца, при периодах прерывистой подачи отопления в жилых помещениях [9].

Практическое применение специализированных энергосберегающих средств в жилых помещениях выступает основополагающим нормативом организации автоматизированного контроля параметров микроклимата. Это способствует обеспечению точного и приемлемого уровня регулирования влажности и температуры в жилых зданиях [7], [8].

В свою очередь, системы управления микроклиматом, устанавливаемые в жилых зданиях, предназначены для организации комфортного пребывания людей, учитывая приемлемое значение влажности и температуры воздуха.

Процесс поддержания и отлаживания работы автоматизированных комплексов для достижения ком-

форта в жилом помещении крайне простой, поскольку учитываются общечеловеческие параметрические характеристики [4]. Если в одном жилом помещении проживает несколько субъектов, то система управления микроклиматом должна базироваться на сложном алгоритме работы энергосберегающих и ресурсоэффективных средств.

Цель данного исследования — представить результат практического осуществления интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях.

Задачи исследования:

1. Выявить характеристики системы интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях.
2. Отобразить практическое осуществление элемента логического вывода и создания информации для интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях.
3. Проанализировать практическое осуществление интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях.

### Материалы и методы

Для выявления характеристик системы интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях авторами статьи был осуществлен анализ теоретических и эмпирических источников академической литературы, аналитических документов, отражающих вопросы работы интеллектуальных систем и технологий искусственного интеллекта в жилых помещениях.

Помимо вышеуказанных методов, авторами статьи для практического осуществления элемента логического вывода и создания информации для интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях использовались метод индукции, дедукции, анализа статистических временных рядов, моделирования процессов, алгоритмизации, обработки количественных показателей с прикладного обеспечения с использованием теории вероятностей, математического и статистическо-

го анализа, интеллектуального анализа информации, метода Монте-Карло.

### Характеристика системы интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях

В соответствии с имеющимися на сегодняшний день системами управления микроклиматом авторы определили несколько вариантов формирования алгоритма интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях:

1. Анализ показателей микроклимата в жилом помещении и внешней среды. Результат анализа — выбор разработанного ранее алгоритма интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях.
2. IT-сервис самостоятельно вычисляет разные схемы интеллектуального управления микроклиматом и осуществляет выбор наиболее оптимального алгоритма.

В целом, интеллектуальное управление микроклиматом (традиционная, наиболее распространённая система) проиллюстрировано на рисунке 1.

Экспертная система или элемент управления микроклиматом подразумевает самообучаемый компонент в течение реализации возложенных функций, другими словами, он пополняет либо изменяет информационную базу при коррекции внешних, либо внутренних факторов среды жилого здания, воздействию сезонности на параметры. Исполнительные устройства — вентиляторы, кондиционеры и радиаторы.

Целесообразно заметить, что ключевым условием устойчивой и правильной работы системы интеллектуального управления микроклиматом в жилых зданиях выступает существование исполнительных устройств, соответствующих современным требованиям охлаждения, обогрева и вентиляции внутренней среды помещения [1].

Основная слабая сторона традиционной системы интеллектуального управления микроклиматом — от-



Рис. 1. Схема работы традиционной системы интеллектуального управления микроклиматом (источник: составлено автором на основе [1–9])

Примечание: Т — показатель температуры; Р — давление в жилом помещении; φ — относительная влажность воздуха



Рис. 2. Авторская схема работы системы интеллектуального управления микроклиматом на основе совершенствования общей модели

Примечание: Т — показатель температуры; Р — давление в жилом помещении; φ — относительная влажность воздуха

сутствие автоматического отлаживания температурного режима в жилом помещении, который был бы комфортным для всех проживающих в нём граждан.

Исходя из этого, авторы предлагают изменить схему работы традиционной системы интеллектуального управления микроклиматом на основе совершенствования общей модели (рисунок 2).

Элемент выбора благоприятных условий микроклимата в среде жилого помещения подразумевает установку приемлемых уровней температуры и относительной влажности воздуха. Элемент идентификации осуществляет регистрацию и длительность пребывания человека в конкретном жилом помещении (рисунок 3).



Рис. 3. Авторская схема работы элемента идентификации системы интеллектуального управления микроклиматом

Функционирование экспертной системы интеллектуального управления микроклиматом определяется алгоритмом на рисунке 4.

При входе/выходе в среде жилого здания каждый человек регистрируется посредством RFID-карты, ин-

формация с которой считывается и отправляется в информационную базу. Данные сохраняются в базе блока управления микроклиматом.

Практическое осуществление элемента логического вывода и создания информации для интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях

Элемент логического вывода и создания информации для интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях смоделирован как нечёткая сеть, обладающая пятью слоями (рисунок 5).

Функциональное предназначение рассматриваемого элемента — управление краном батареи для контроля отопления и включением кондиционера для оптимальной вентиляции среды жилого помещения. Входные переменные модели:

1. Время года (присутствует ли необходимость отопления).
2. Время суток.
3. Текущая температура в жилом помещении.
4. Установленная температура субъектом.

Выход модели — лингвистическая переменная, создающая данные управленческих воздействий для технических устройств, выполняющих задания экспертной системы.

Описание слоев модели представлено ниже.

Слой 1, который определяет термы входных переменных: время года — 3 терма, время суток — 6 термов, текущая температура в жилом помещении — 5 термов, установленная температура субъектом — 5 термов. Выход — значения функции принадлежности. Для обозначенных входных параметров установлены функции принадлежности трапециевидной формы.

Слой 2, который неадаптивно выявляет посылку нечётких правил. Выход — степени истинности нечётких правил. Они рассчитываются в соответствии с формулой (1):

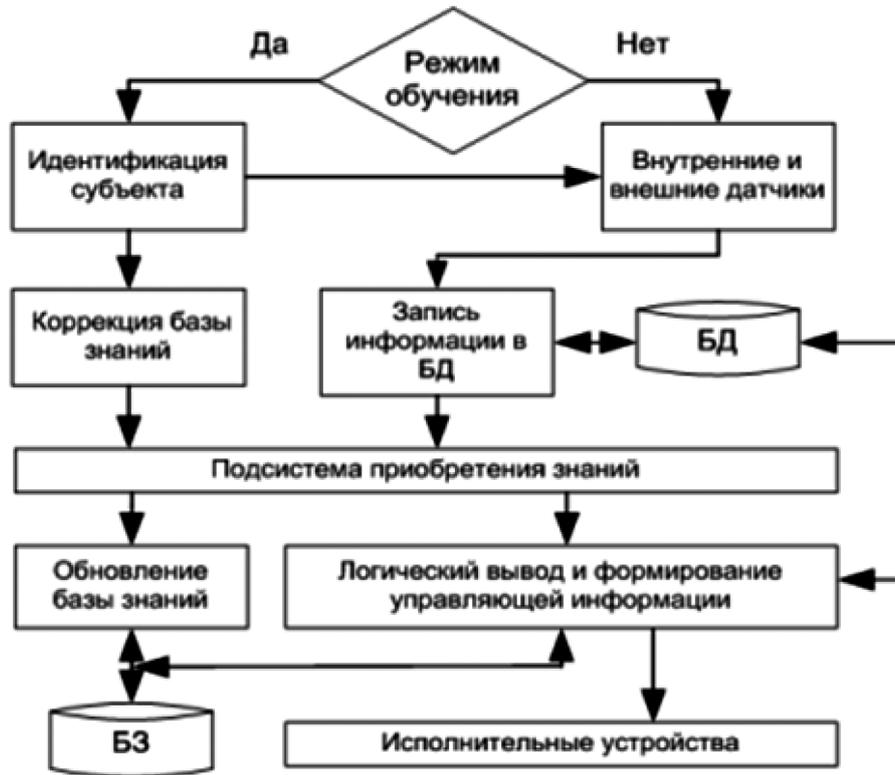


Рис. 4. Алгоритм функционирования экспертной системы интеллектуального управления микроклиматом в среде жилого здания (источник: составлено автором на основе [1–9])

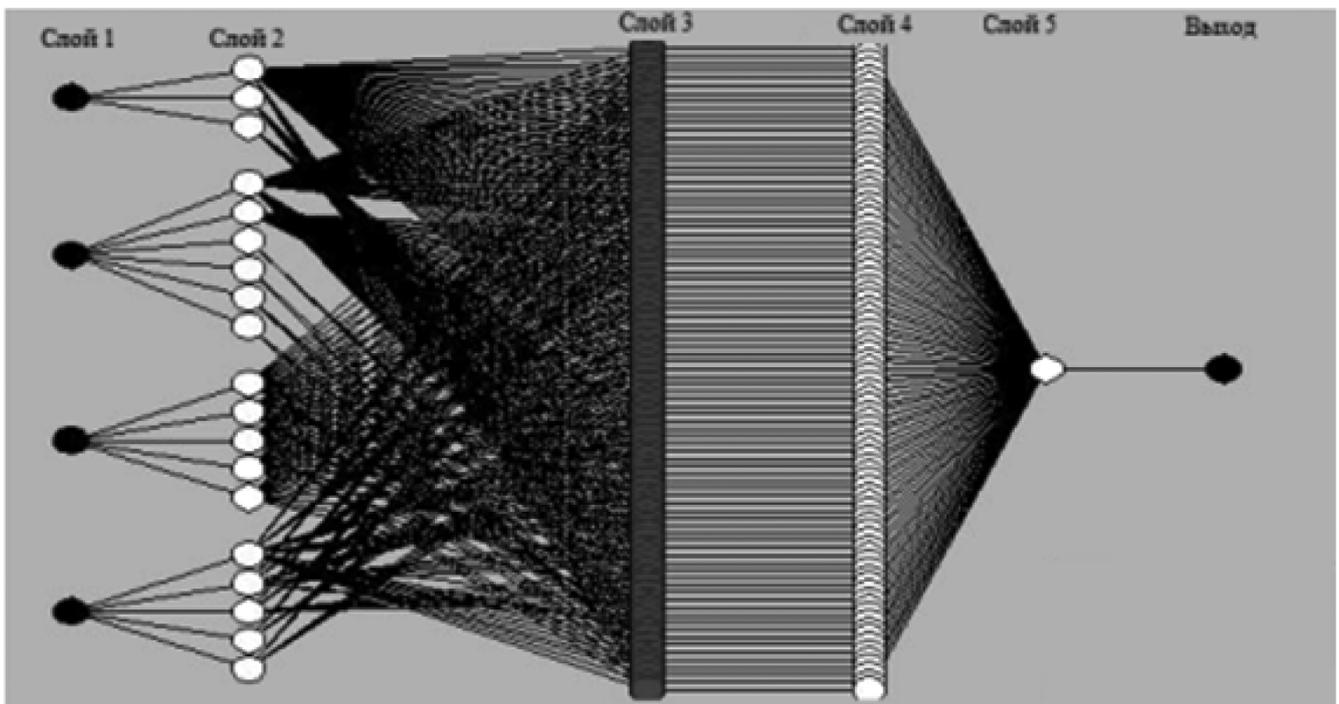


Рис. 5. Нечёткая сеть элемента логического вывода и создания информации для интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях (источник: составлено авторами на основе инструментария MATLAB)

$$w_j = \min\{\mu_j(IVG), \mu_j(IT), \mu_j(ICO), \mu_j(ICZ)\} \quad (1)$$

где  $IVG$  — время года;  
 $IT$  — время суток;

$ICO$  — текущая температура в жилом помещении;  
 $ICZ$  — установленная температура субъектом;  
 $j$  — объём нечётких правил.

Слой 3, который неадаптивно нормализует степени исполнения (весового индикатора) нечётких правил в системе интеллектуального управления микроклиматом. Они рассчитываются в соответствии с формулой (2):

$$\bar{W}_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^{200} w_j} \quad (2)$$

Слой 4, который адаптивно рассчитывает значение вклада нечёткого правила при выходе. Оно выявляется, исходя из формулы (3):

$$y_j = \bar{W}_j * U_j \quad (3)$$

где  $U_j$  — чёткое число, которое задаёт характеристики нечёткого правила.

Слой 5. Вычислитель неадаптивно суммирует значения вкладов нечёткого правила, что отражено в формуле (4):

$$y = \sum_{j=1}^{200} y_j \quad (4)$$

Практическое осуществление смоделированной сети учитывало минимизацию стандартной ошибки, что обозначено в формуле (5):

$$E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [v_p(i) - OU(i)]^2} \rightarrow \min \quad (5)$$

Для того чтобы обучить сетевую модель выявлению параметрических характеристик, применялся способ обратного распространения стандартной ошибки.

#### Анализ практического осуществления интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях

Работа сети осуществлялась системой интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях.

Обучающая статистическая выборка была сформирована при помощи метода моделирования Монте-Карло. Шаг обучения составляет значение, равное  $10^{-4}$ . Приемлемое изменение заданного шага обучения — 10 %. Среднее значение параметра  $E$  — 2,19, однако после прохождения 490 итерации оно сократилось до 0,16. На рисунке 6 проиллюстрирована зависимость между обучающей выборкой и стандартной ошибкой обучения системы.

Основная особенность авторской схемы работы системы интеллектуального управления микроклиматом — наличие возможности отлаживания параметров микроклимата под человека, который в конкретный момент времени находится в жилом помещении. Соответственно, в те моменты временного периода, когда в жилом помещении субъекты отсутствуют, температурный режим совпадает. Система интеллектуального управления микроклиматом может сократить эксплуатационные затраты путём снижения уровня температуры в среде жилого помещения. На рисунке 7 отражен результат объёма использованного тепла в зимний период времени (когда присутствует необходимость отопления жилого здания).

Практическое применение системы интеллектуального управления микроклиматом способствует сокращению используемого для отопления тепла в среднем на 21,3 % с учётом предпочтений проживающих в жилом помещении граждан. При этом таких результатов можно достичь при установлении температурного режима пребывания первого субъекта — 18 градусов по Цельсию (время пребывания в жилом помещении — с 9 до 14 часов), комфортные температурные условия второго субъекта — 22 градуса по Цельсию (время пребывания в жилом помещении — с 13 до 18 часов). В данном случае система интеллектуального управления микроклиматом

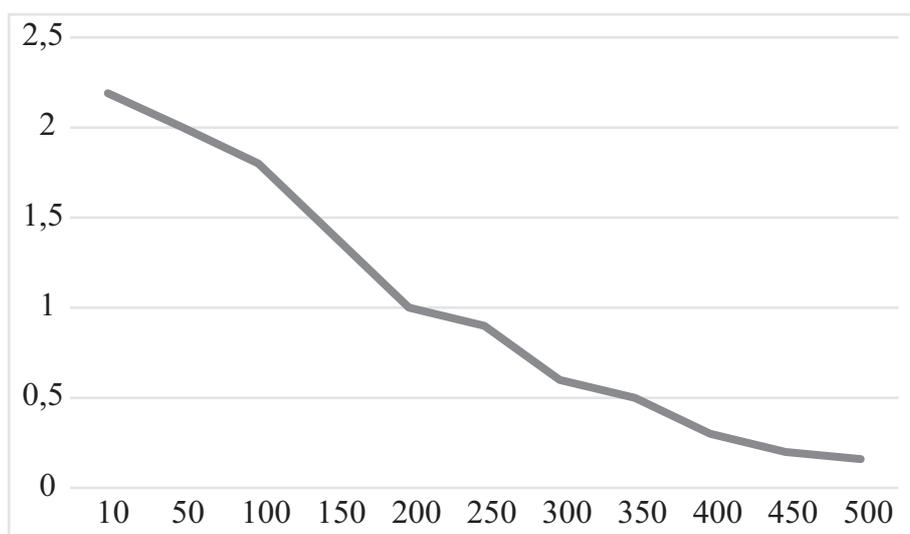


Рис. 6. Зависимость между обучающей выборкой и стандартной ошибкой обучения системы интеллектуального управления микроклиматом (источник: рассчитано авторами)

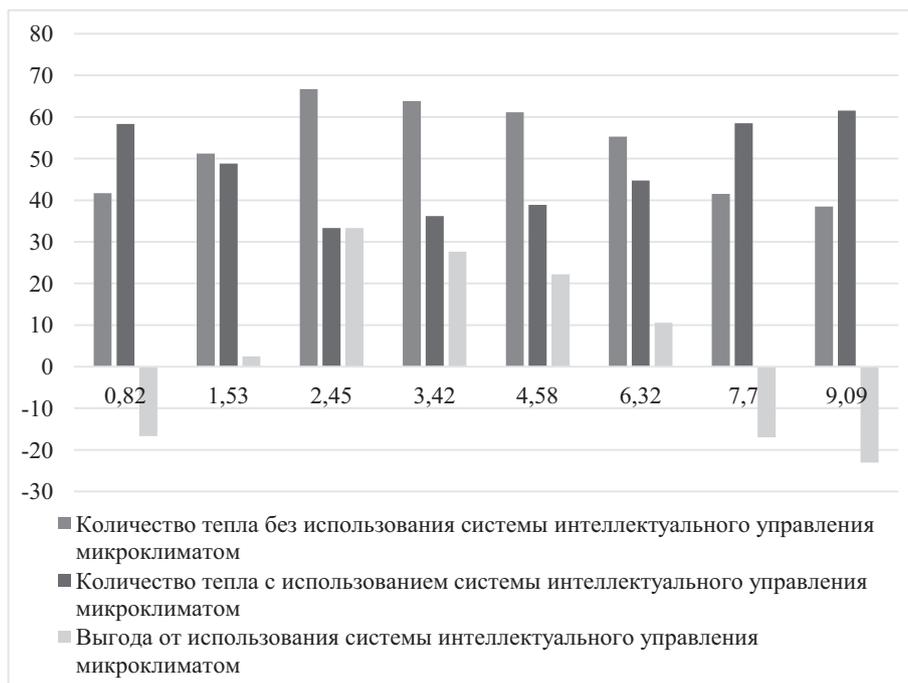


Рис. 7. Результат объёма использованного тепла в зимний период времени (когда присутствует необходимость отопления жилого здания) при использовании и без использования системы интеллектуального управления микроклиматом (источник: рассчитано авторами)

плавно скорректирует температурный режим в среде жилых помещений. Когда время пребывания субъектов в одном жилом помещении совпадает, то вводится средний уровень комфортной температуры.

### Выводы

В исследовании были выявлены характеристики системы интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях.

Отражены результаты практического осуществления элемента логического вывода и создания информации

для интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях.

Проанализировано практическое осуществление интеллектуального управления микроклиматом в жилых помещениях.

Представленная система интеллектуального управления микроклиматом позволит установить благоприятные, комфортные параметры микроклимата в среде жилого помещения с учётом предпочтений проживающих в нём граждан, снизить издержки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Акперов И.Г., Сахарова Л.В. Проблемы нечетко-множественного управления системой «умный дом» // Интеллектуальные ресурсы-региональному развитию. — 2021. — №. 2. — С. 9–28.
2. Андрийчук В.Н. Повышение качества регулирования приточной вентиляционной системы // Научные технологии и оборудование в промышленности и строительстве. — 2022. — №. 71. — С. 90–97.
3. Гульбинас А.С., Белова Л.В. Разработка концептуальной основы интеллектуального здания на основе метода триадической дешифровки: эволюционный подход // Архитектура, строительство, транспорт. — 2024. — №. 2. — С. 17–28.
4. Ералинова Г.М., Оразбаев Б.Б., Бражанова Д.К. Исследование и разработка системы автоматического регулирования и кондиционирования воздуха на основе FUZZY LOGIC // Вестник Ауэс. — 2023. — Т. 1. — №. 60. — С. 29–43.
5. Ефимова О.Н., Абдукаримов Д.А. Интеллектуализация зданий и помещений для автоматизированного управления инженерного оборудования // Актуальные научные исследования в современном мире. — 2020. — №. 1–1. — С. 10–16.
6. Мозохин А.Е. Методика обеспечения комфортного состояния микроклимата умного дома с использованием ансамбля нечетких искусственных нейронных сетей // Информатика и автоматизация. — 2021. — Т. 20. — №. 6. — С. 1418–1447.
7. Самойлова Е.М., Хамитов Р.Т. Автоматизация системы управления вентиляцией на контроллере SIEMENS LOGO // Автоматизированные системы управления и информационные технологии. — 2021. — С. 401–405.
8. Фияшко К.С. Методика субъектно-ориентированного выбора варианта теплоснабжения индивидуальных жилых зданий // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. — 2020. — Т. 1. — С. 316–323.
9. Olenych I. Smart home climate control system based on fuzzy logic controller // Electronics and information technologies. — 2022. — Т. 17. — С. 26–35.