МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОКЛИМАТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ УЧАЩИХСЯ

Варламова Людмила Петровна
Профессор, доктор технических наук, Национальный университет Узбекистана
E-mail: dimirel@gmail.com
Рахимова Мохира Музаффар кизи
Магистрант направления «Информационные системы и технологии» Национального университета Узбекистана
E-mail: rahimovamohira730@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada mikroiqlim parametrlarining (harorat, namlik, CO_2 konsentratsiyasi, yoritilish darajasi) o‘quvchilarning kognitiv faolligi va o‘zlashtirishiga ta’siri ko‘rib chiqilgan. O‘lchab bo‘ladigan mikroiqlim ko‘rsatkichlari asosida talabalar unumdorligini miqdoriy baholash imkonini beruvchi matematik model taklif etilgan. Formulalar, hisoblash misollari hamda modelni mikroiqlimni boshqarish tizimlarida qo‘llash bo‘yicha tavsiyalar keltirilgan.

Kalit so‘zlar: mikroiqlim, o‘quv xonalari, matematik modellashtirish, kognitiv unumdorlik, qulaylik, shamollatish, CO_2 darajasi.

Аннотация. В статье рассмотрено влияние параметров микроклимата (температура, влажность, концентрация CO_2, освещённость) на когнитивную активность и успеваемость учащихся. Предложена математическая модель, позволяющая количественно оценивать продуктивность студентов на основе измеряемых микроклиматических показателей. Представлены формулы, примеры расчёта, а также рекомендации по применению модели в системах управления микроклиматом.

Ключевые слова: микроклимат, учебные помещения, математическое моделирование, когнитивная продуктивность, комфорт, вентиляция, уровень CO_2.

Abstract. The article examines the impact of microclimate parameters (temperature, humidity, CO_2 concentration, lighting) on students’ cognitive activity and academic performance. A mathematical model is proposed to quantitatively assess student productivity based on measurable microclimatic indicators. Formulas, calculation examples, and recommendations for applying the model in microclimate control systems are provided.

Keywords: microclimate, educational spaces, mathematical modeling, cognitive productivity, comfort, ventilation, CO_2 level.

ISSN 3030-3907

I.Введение

Создание комфортных условий в учебных помещениях является важным аспектом обеспечения высокой эффективности учебного процесса. Современные исследования подтверждают, что такие параметры микроклимата, как температура воздуха, влажность, освещённость и содержание CO_2, прямо влияют на когнитивные функции человека — внимание, память, скорость обработки информации и принятие решений [1–3].

Так, согласно Satish и соавт. [2], увеличение уровня CO_2 выше 1000 ppm приводит к ухудшению качества решений и когнитивной гибкости у студентов. В свою очередь, Seppänen и Fisk [1] отмечают, что даже незначительные колебания микроклиматических условий в помещении могут вызывать утомляемость, снижение концентрации и ухудшение восприятия информации. Дополнительные данные приведены Wargocki и др. [3], где подчёркивается связь вентиляции и академической успеваемости.

Целью данной работы является разработка математической модели, позволяющей количественно оценить влияние параметров микроклимата на продуктивность учащихся, и её использование в системах интеллектуального контроля среды обучения.

II.Анализ использованной литературы

В рамках исследования были проанализированы ключевые источники, отражающие междисциплинарный подход к оценке микроклимата:

- **Seppänen и Fisk (2004)** [1] подчёркивают важность вентиляции и микроклимата для здоровья и умственной работоспособности. Их обзор дал обоснование для включения вентиляции как одного из факторов модели.
- **Satish et al. (2012)** [2] представили экспериментальные данные о влиянии уровня CO_2 на принятие решений. Этот источник стал центральным при выборе порогов концентрации CO_2 в модели.
- **Wargocki et al. (2000)** [3] доказали влияние подачи свежего воздуха на продуктивность и самочувствие, что подтвердило необходимость учёта вентиляции в рамках моделирования.
- **Lan и соавт. (2011)** [4] рассмотрели влияние температуры и термокомфорта на производительность труда. Их результаты использованы для определения температурных коэффициентов в модели.
- **ГОСТ 30494-2011** [5] и **ASHRAE 62.1-2022** [6] предоставили нормативную базу для обоснования диапазонов комфортных значений параметров микроклимата.

ISSN 3030-3907

• **Работы Власова и Климовой (2018)** [7], а также **Ковалева (2016)** [8] раскрыли технические аспекты создания интеллектуальных микроклиматических систем и вопросы практической реализации мониторинга микросреды.

• **Варламова Л.П., Рахимова М.М. (2025)** [9] касается анализа существующих систем управления микроклиматом и подтвердило актуальность создания адаптивной и персонализируемой модели управления на основе когнитивных факторов.

III.Методология исследования

Методологической основой данного исследования является системный подход к анализу влияния микроклиматических параметров на когнитивную продуктивность учащихся. В исследовании использованы следующие методы:

1. **Анализ литературы** – изучены научные статьи и нормативные документы, посвящённые физиологическому и психофизиологическому воздействию параметров микроклимата (температура, влажность, CO_2, освещённость) на человека. Особое внимание уделено работам, демонстрирующим количественную связь между микроклиматом и умственной активностью [1–4, 6].
2. **Сравнительный анализ нормативов** – использованы стандарты ГОСТ 30494-2011 и ASHRAE 62.1-2022 для определения допустимых диапазонов параметров микроклимата в образовательных учреждениях.
3. **Математическое моделирование** – разработана формализованная модель оценки продуктивности, в которой учтены весовые коэффициенты влияния микроклиматических параметров и реализованы нормализованные функции оценки по каждому параметру.
4. **Примерные расчёты** – модель протестирована на основе типовых сценариев с варьируемыми микроклиматическими условиями, что позволило продемонстрировать её работоспособность и чувствительность.
5. **Инженерно-технический анализ** – рассмотрены возможности применения разработанной модели в интеллектуальных системах управления микроклиматом на базе микроконтроллеров и сенсорных сетей (IoT-архитектура).

IV.Обсуждение и результаты.

1. Физиологическое влияние микроклимата

На основании анализа литературных источников и санитарных норм [5–6] определены оптимальные диапазоны параметров микроклимата:

ISSN 3030-3907

- **Температура воздуха (T):** 20–24 °C — комфортный диапазон. При T > 25 °C снижается внимательность, учащается сердцебиение, повышается утомляемость [4].
- **Относительная влажность (H):** 40–60%. При H < 30% — сухость слизистых и снижение внимания; при H > 70% — ощущение духоты и снижение комфорта [5].
- **Концентрация CO_2 (C):** оптимум до 800 ppm; при превышении 1000 ppm снижается производительность, ухудшается логическое мышление [2, 6].
- **Освещённость (L):** норматив от 300 до 750 лк. Недостаточное освещение вызывает усталость глаз и когнитивное торможение [7].

2. Математическая модель продуктивности

Для количественной оценки продуктивности учащихся в зависимости от микроклимата предложена следующая модель:

$$P = \alpha_T \cdot \varphi_T(T) + \alpha_H \cdot \varphi_H(H) + \alpha_C \cdot \varphi_C(C) + \alpha_L \cdot \varphi_L(L) \quad (1)$$

где

P-уровень продуктивности(от 0 до 1)

α_i-веса влияния каждого параметра($\sum \alpha_i = 1$)

$\varphi_i(x)$-нормализованные функции для каждого параметра

Нормализация параметров:

- Температура:

$$\varphi_T(T) = \begin{cases} 1, & 20 \le T \le 24 \\ 1 - 0.05 \cdot |T - 22|, & иначе \end{cases} \quad (2)$$

- Влажность:

$$\varphi_H(H) = \begin{cases} 1, & 40 \le H \le 60 \\ 1 - 0.02 \cdot |H - 50|, & иначе \end{cases} \quad (3)$$

- CO_2:

$$\varphi_T(T) = \begin{cases} 1, & C \le 800 \\ 1 - 0.0005 \cdot (C - 800), & 800 \le C \le 2000 \\ 0, & C > 2000 \end{cases} \quad (4)$$

- Освещённость:

$$\varphi_L(L) = \begin{cases} 1, & L \ge 300 \\ L / 300, & L < 300 \end{cases} \quad (5)$$

Пример расчёта:

Пусть:

T=27 °C, H=35%, C=1300ppm, L=200лк

$\alpha_T = 0.3,\ \alpha_H = 0.2,\ \alpha_C = 0.35,\ \alpha_L = 0.15,$

ISSN 3030-3907

Тогда:

$$\varphi_T = 1 - 0.05 \cdot |27 - 22| = 0.75$$
$$\varphi_H = 1 - 0.02 \cdot |35 - 50| = 0.7$$
$$\varphi_C = 1 - 0.0005 \cdot 500 = 0.75$$
$$\varphi_L = \frac{200}{300} = 0.67$$

Результат:

$$P=0.3\cdot0.75+0.2\cdot0.7+0.35\cdot0.75+0.15\cdot0.67=0.727$$

То есть продуктивность учащихся при указанных условиях составляет **72.7%** от максимума.

Для создания эффективной системы управления микроклиматом необходимо учесть ряд факторов и параметров, приведенных выше. В литературе [9] предлагается создание умной системы контроля и управления микроклиматом с приточно-вытяжной вентиляцией, построенной на использовании бризера. Однако, данная система не рассчитана на помещения больших объемов. Поскольку, учебные помещения также имеют требования по поддержке микроклимата и относятся к помещениям, где важно поддерживать температуру, влажность чистоту и свежесть воздуха. Проводя в учебных помещениях большую часть времени студенты и преподаватели в большей степени ощущают отклонения параметров микроклимата [9].

Выводы

1. Микроклиматические условия в учебных помещениях оказывают прямое и значительное влияние на когнитивные функции студентов, включая внимание, скорость обработки информации, утомляемость и способность к принятию решений. Даже незначительные отклонения температуры, влажности, освещённости или концентрации CO_2 от оптимальных значений могут снижать продуктивность учащихся на 20–30%.
2. Разработанная математическая модель позволяет количественно оценивать влияние ключевых параметров микроклимата на уровень продуктивности. За счёт нормализации каждого фактора и применения весовых коэффициентов обеспечивается гибкость модели для различных условий и категорий пользователей.
3. Проведённые расчёты показали, что при температуре 27 °C, влажности 35%, CO_2 1300 ppm и освещённости 200 лк, продуктивность учащихся составляет 72.7% от максимально возможной. Это подчёркивает необходимость своевременной коррекции микроклимата для повышения эффективности образовательного процесса.

ISSN 3030-3907

4. Модель может быть интегрирована в интеллектуальные климатические системы, оснащённые датчиками и автоматическими контроллерами (например, с применением IoT-архитектуры и микроконтроллеров типа Arduino/ESP32). Это позволит в реальном времени оценивать и корректировать параметры микросреды на основе заданных целевых показателей.

5. В дальнейшем планируется расширение модели с учётом дополнительных факторов: акустического шума, психологического комфорта, наличия вредных веществ (TVOC), физиологических показателей (ЧСС, уровень стресса) и нагрузки на цифровые устройства. Это сделает систему оценки микроклимата более комплексной и персонализированной.

6. Предложенный подход может быть применён не только в образовательных учреждениях, но и в офисах, библиотеках, коворкингах, лабораториях и других помещениях, где важна поддержка высокой умственной активности и внимания.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Seppänen O., Fisk W. J. *Summary of human responses to ventilation*. Indoor Air, 2004, Vol.14 (s7), pp. 102–118.

2. Satish U., Mendell M.J. et al. *Is CO_2 an indoor pollutant? Direct effects on human decision-making performance*. Environmental Health Perspectives, 2012, Vol.120(12), pp. 1671–1677.

3. Wargocki P., Wyon D.P. et al. *The effects of outdoor air supply on productivity and symptoms*. Indoor Air, 2000, Vol.10(4), pp. 222–236.

4. Lan L., Wargocki P., Lian Z. *Thermal effects on human performance in office environment*. Building and Environment, 2011, Vol. 46(3), pp. 714–721.

5. ГОСТ 30494-2011. *Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях*.

6. ASHRAE Standard 62.1-2022. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.

7. Власов В.А., Климова А.Ю. *Интеллектуальные системы управления микроклиматом*. Вестник ТУСУРа, 2018, №3 (24), с. 36–42.

8. Ковалев А.В. *Оценка микроклимата и его влияния на продуктивность учащихся*. Вестник МГТУ, 2016, №4 (60), с. 122–127.

9. Варламова Л.П., Рахимова М.М. Анализ существующих систем управления микроклиматом. //Proceedings of the 14th International Scientific and Practical Conference “International forum: Problems and scientific solutions”. Melbourne, Australia,16-18.01.2025.#213. –pp.276-280.

ISSN 3030-3907