



БИОКЛИМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОМЕЩЕНИЙ В ГОДОВОМ ЦИКЛЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: помещение, биоклиматический анализ, температурно-влажностный режим, показатель дискомфорта, частота показателя дискомфорта

С. В. Корниенко, доктор техн. наук, советник РААСН, заведующий кафедрой «Архитектура зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Задачей проектировщика является создание комфортных условий, при которых количество производимой и теряемой телом человека теплоты уравновешено. Покажем, что биоклиматический анализ жилых помещений позволяет определить совокупное воздействие температурно-влажностного режима на организм человека в годовом цикле.

Благоприятный для человека тепловой режим в помещении может быть создан системами отопления или охлаждения. Самочувствие и работоспособность человека зависят от его терморегулирующей системы. Теплота, непрерывно вырабатываемая организмом человека для поддержания постоянной температуры тела (около 36,6 °С), передается окружающей среде. Если теплопродукция организма и потери теплоты не сбалансированы, то в организме может наблюдаться повышение температуры, связанное с накоплением теплоты, или ее снижение в связи с дефицитом тепловой энергии. Задачей проектировщика является создание комфортных условий, при которых количество производимой и теряемой телом человека теплоты уравновешено [1–3].

Для комплексной оценки теплового воздействия окружающей среды на человека применяют различные биоклиматические показатели [4]:

- температурно-влажностный индекс (ТНІ);
- универсальный индекс теплового климата (UTCI);
- показатель дискомфорта (DІ) и ряд других.

В отличие от физических характеристик (температуры, влажности, скорости движения воздуха) биоклиматические показатели позволяют оценить влияние микроклимата в целом на состояние здоровья человека и помогают определить степень его дискомфорта. Объектом биоклиматического анализа могут быть открытые территории [5], жилые [6], офисные [7] и учебные здания [8], церкви [9], поезда дальнего следования [10] и др.

Актуальность проведенного исследования обусловлена отсутствием биоклиматических показателей помещений в годовом цикле их эксплуатации. Это затрудняет проектирование зданий с повышенными требованиями к тепловому комфорту [11] и снижает точность проводимых теплотехнических расчетов.

Покажем, как биоклиматический анализ позволяет определить совокупное воздействие температурно-влажностного режима жилых помещений на организм человека в годовом цикле.

Температурно-влажностный режим помещений

Еще в 2019–2020 годах был проведен цикл натурных исследований температурно-влажностного режима жилых помещений многоквартирного жилого дома в условиях умеренно-континентального климата, с умеренно холодной зимой и жарким летом [12]. Для регистрации температуры воздуха в помещениях, относительной влажности и контроля открывания окон использовались датчики. Температура наружного воздуха определялась на основе имеющихся архивных данных. Экспериментальные данные собирались в течение года, за каждый час эксплуатации помещений.

Перед замерами был проведен опрос жильцов обследованных помещений. В целом среда по ощущениям жильцов оценивалась как теплая, однако многие указали на низкую влажность воздуха в течение отопительного периода. В связи с этим многие жильцы использовали в это время периодическое открывание окон, а также увлажнители воздуха.

Результаты натурных испытаний температурно-влажностного режима контрольного помещения, представленные на рис. 1, коррелируют с данными опроса жильцов. В холодный период года наблюдается рост колебаний температуры и относительной влажности воздуха, что можно объяснить эффектами залпового проветривания и периодического увлажнения воздуха. Подобные эффекты были выявлены и в других обследованных помещениях.

Полученные данные по температурно-влажностному режиму использованы для биоклиматического анализа в годовом цикле эксплуатации помещений.

Биоклиматический анализ помещений

Выполним биоклиматический анализ контрольного помещения на основе показателя дискомфорта (Discomfort Index, DI). Данный показатель определяется по температуре сухого и смоченного термометров [13]. Показатель дискомфорта также можно вычислить по значениям параметров микроклимата помещения (температуры и относительной влажности), используя формулу (1) (см. Формулы).

Для оценки степени дискомфорта можно использовать данные (табл. 1) по классификации теплового комфорта человека [13].

В нашем случае показатель дискомфорта в контрольном помещении был рассчитан (рис. 2) на основе фактических значений температуры и относительной влажности внутреннего воздуха по формуле (1). Очевидно, что график годового

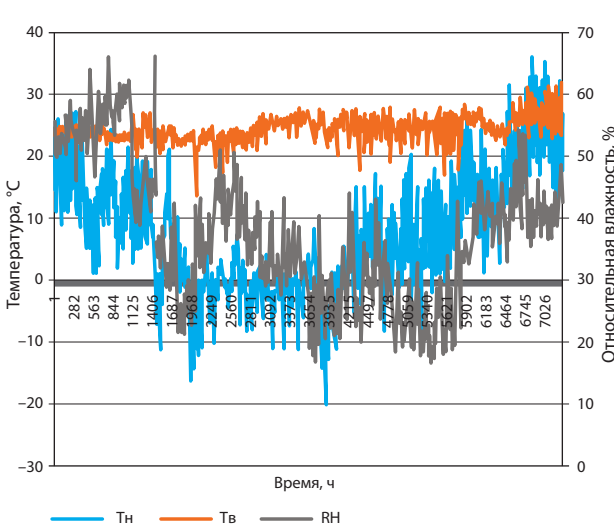


Рис. 1. График годового хода часовых значений температур наружного воздуха T_n , воздуха в помещении T_b (левая шкала) и относительной влажности RH (правая шкала) в контрольном помещении. Начало регистрации параметров 01 сентября 2019 года, время 00:00

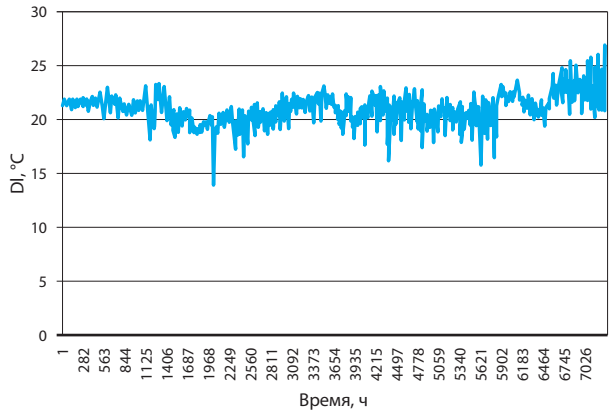


Рис. 2. График годового хода часовых значений показателя дискомфорта в контрольном помещении

Формулы

Обозначение формулы	Формула
(1)	$DI = T_b - 0,55(1 - 0,01RH)(T_b - 14,5)$
(2)	$DIF_j = \frac{z_j}{Z} 100$

Обозначения в формулах

DI – показатель дискомфорта, °C
 T_b – температура воздуха в помещении, °C
RH – относительная влажность воздуха, %
 DIF_j – частота показателя дискомфорта для j-го интервала DI (табл. 1) в данном месяце, %
 z_j – число часов для j-го интервала DI, ч
Z – общее число часов в месяце, ч

Таблица Классификация теплового комфорта человека (согласно исследованиям Thom’a [13])

Показатель дискомфорта DI, °C	Степень дискомфорта
Менее 21	Дискомфорт отсутствует
От 21 до 24	Менее 50 % людей испытывают дискомфорт
Свыше 24 до 27	Более 50 % людей испытывают дискомфорт
Свыше 27 до 29	Большинство людей испытывает дискомфорт
Свыше 29 до 32	Тепловой стресс
Свыше 32	Требуется неотложная медицинская помощь

хода часовых значений DI в контрольном помещении (рис. 2) отражает комплексное воздействие температуры и относительной влажности внутреннего воздуха на человека.

Годовой массив часовых данных DI довольно сложно использовать в практических расчетах. Для обобщения этой зависимости определим частоту показателя дискомфорта (Discomfort Index Frequency, DIF) в каждом месяце по формуле (2) и на основе полученных значений построим годовой биоклиматический график для контрольного помещения (рис. 3).

Полученный результат позволяет оценить уровень комфортности в помещении в различные месяцы года (рис. 3):

- **в сентябре** преобладает легкий дискомфорт ($21\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{DI} < 24\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- **в октябре** комфортность среды повышается до 42 %, достигая максимума в ноябре ($\text{DI} < 21\text{ }^{\circ}\text{C}$), а затем незначительно снижается в декабре;
- **в январе** преобладает легкий дискомфорт;
- **в феврале** и марте можно отметить примерно равные доли между комфортом и легким дискомфортом;
- **в апреле** вновь преобладают комфортные условия с повышением уровня легкого дискомфорта в мае;
- **для летних месяцев** характерно преобладание легкого дискомфорта, причем в июле и августе появляется средняя степень дискомфорта ($24\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{DI} < 27\text{ }^{\circ}\text{C}$), что связано с избыточной инсоляцией помещения.

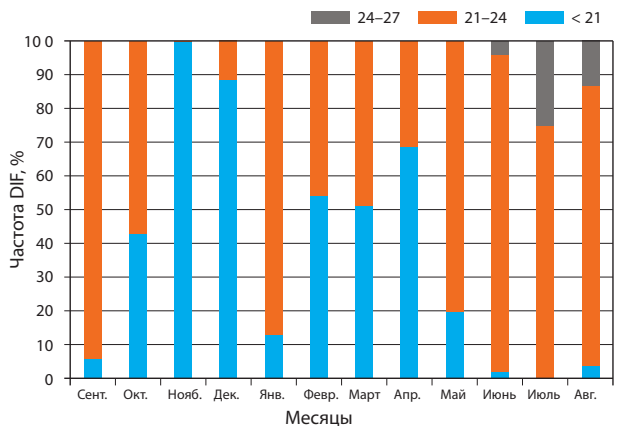


Рис. 3. Годовой биоклиматический график для контрольного помещения

Важно отметить, что тяжелые дискомфортные условия ($27\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{DI} < 29\text{ }^{\circ}\text{C}$) в течение года в помещении не идентифицированы.

Выявленные различия теплового комфорта обусловлены влиянием климатических воздействий и особенностями режима эксплуатации помещений.

Биоклиматический анализ помещений в годовом цикле их эксплуатации является эффективным инструментарием, позволяющим проектировать зеленые здания и повысить точность теплотехнических расчетов. В дальнейшем этот метод может быть использован для разработки новых адаптивных моделей теплового комфорта.

Литература

1. Tabunshchikov Yu. A., Brodach M. M. Optimization problems of mathematical modeling of a building as a unified heat and power system // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2020. No. 16 (1). Pp. 156–161.

2. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Зеленые здания – требования устойчивого развития // АВОК. 2023. № 2. С. 56–64.

3. Varlamov N. V., Gorshkov A. S., Yuferev Yu. V., Lezer A. Yu., Zhimov A. E., Parashchenko N. A. The Heat-Storage Capacity of the Lakhta Center Multifunctional Complex Tower Building // Thermal Engineering. 2023. Vol. 70. No. 1. Pp. 32–40.

4. Blazejczyk K., Epstein Y., Jendritzky G., Staiger H., Tinz B. Comparison of UTCI to selected thermal indices // International Journal of Biometeorology. 2012. No. 56. Pp. 515–535.

5. Libanda E., Nkolola N. B., Chilekana N. Human thermal comfort and urban climate of Zambia’s economic and political hub: a RayMan model study // Modeling Earth Systems and Environment. 2020. No. 6. Pp. 1671–1682.

6. Williamson T., Daniel L. A new adaptive thermal comfort model for homes in temperate climates of Australia // Energy and Buildings. 2020. Vol. 210. Pp. 109728.

7. Sourbron M., Helsen L. Evaluation of adaptive thermal comfort models in moderate climates and their impact on energy use in office buildings // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43 (2–3). Pp. 423–432.

8. Heracleous C., Michael A. Thermal comfort models and perception of users in free-running school buildings of East-Mediterranean region // Energy and Buildings. 2020. Vol. 215. Pp. 109912.

9. Sovetnikov D., Baranova D., Borodinecs A., Korniyenko S. Technical problems in churches in different climatic conditions // Construction of Unique Buildings and Structures. 2018. Vol. 64 (1). Pp. 20–35.

10. Maier J., Zierke O., Hoermann H.-J., Goerke P. Effects of personal control for thermal comfort in long-distance trains // Energy and Buildings. 2021. No. 247. Pp. 111125.

11. Korniyenko S. The influence of the sky radiative temperature on the building energy performance // Magazine of Civil Engineering. 2022. No. 6 (114).

12. Korniyenko S., Dubov I., Nazarov K. Field study of thermal comfort in dwelling during the winter, mid-season and summer // Magazine of Civil Engineering. 2023. No. 5 (121).

13. Stathopoulou M. I., Keramitsoglou I., Santamouris M. Thermal remote sensing of Thom’s Discomfort Index (DI): Comparison with in situ measurements // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 2005. Vol. 5983. ■