

КОНТРОЛЬ МИКРОКЛИМАТА В ЗДАНИИ ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА СТЕН

Сергей Ашотович Минасян*, Тигран Давидович Манукян

Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА

*sergey.minasyan@yahoo.com

В исследовании температурный градиент стен анализировался как параметр для мониторинга и управления внутренней температурой помещений. Экспериментальные данные были собраны в восьми зданиях района Нарекаци (г. Ереван). Результаты измерений показали, что температурный градиент варьируется в диапазоне от 13,1°C/м до 30,8°C/м. Максимальное значение (30,8°C/м) было зарегистрировано в восьмом здании, тогда как минимальное (13,1°C/м) — в седьмом. Установлено, что более высокий градиент температуры коррелирует с пониженными значениями внутренней температуры. Анализ взаимосвязей параметров температурного режима выявил, что внутренняя температура помещений линейно зависит от внешней температуры, тогда как температурный градиент находится в обратно пропорциональной зависимости от коэффициента теплопроводности, определяющего интенсивность теплообмена между конструкционными элементами здания и окружающей средой. На основании полученных данных разработаны тепловые математические модели, описывающие термодинамические характеристики ограждающих конструкций. Выведенные уравнения, полученные методами графического анализа, могут быть использованы в качестве расчетных параметров при проектировании зданий, позволяя оптимизировать внутренний температурный режим в соответствии с нормативными требованиями. Результаты исследования подтверждают необходимость комплексного учета внешней и внутренней температурных нагрузок, а также температурного градиента стен для повышения эффективности управления микроклиматическими условиями внутри помещений.

Ключевые слова: температура, температурный градиент, теплопроводность, излучение тепла, микроклимат

Введение

Температура представляет собой фундаментальную физическую величину, количественно характеризующую тепловое состояние материальных объектов [1]. В отличие от количества теплоты, температура может рассматриваться как параметр термодинамического состояния системы, либо как мера средней кинетической энергии частиц вещества. Проблема теплового дискомфорта внутри помещений обусловлена физико-механическими и теплофизическими свойствами строительных материалов, включая потолочные панели, стеновые ограждения (каменные, бетонные и композитные), дверные конструкции, элементы кровли, а также их совокупное влияние на тепловой баланс зданий.

Одной из ключевых задач проектирования зданий является обеспечение оптимальных термогигиенических условий, соответствующих нормам комфорта для человека. Помимо элементов ограждающих конструкций (кровля, перекрытия, двери), существенное влияние на температурный режим помещений оказывает тепловая инерция стен, определяющая их способность аккумулировать и перераспределять тепловую энергию.

Температура объекта определяется его внутренней энергией, обусловленной кинетическим движением частиц. При тепловом контакте двух тел, состоящих из одинакового материала, теплопередача осуществляется до достижения состояния термодинамического равновесия, при котором температурный градиент стремится к нулю [2, 3].

Температурный градиент является векторной физической величиной, характеризующей интенсивность и направление изменения температуры в пространстве. Величина градиента выражается в единицах температуры ($^{\circ}\text{C}$, K) на единицу длины (м , см) и является определяющим фактором в процессах теплопередачи. Разность температур служит движущей силой теплового потока, реализуемого за счет механизмов теплопроводности, конвекции и излучения. Согласно второму началу термодинамики, передача тепла всегда осуществляется в направлении уменьшения температуры, то есть от более нагретых областей к менее нагретым.

Кроме того, температура оказывает влияние на широкий спектр физико-химических свойств материалов, включая фазовый переход, объемную плотность, коэффициенты растворимости, давление насыщенного пара и электрическую проводимость. В биологических системах строгий температурный контроль играет решающую роль, поскольку даже незначительные отклонения температуры человеческого тела от физиологической нормы ($\sim 310 \text{ K}$) могут приводить к необратимым изменениям в метаболических процессах.

Настоящее исследование направлено на анализ температурного градиента стеновых конструкций зданий с учетом их геометрических и теплофизических параметров. Оценка температурных полей внутренних и внешних поверхностей стен позволит сформировать математические модели, обеспечивающие прогнозирование и оптимизацию теплового режима помещений с учетом внешних климатических условий и конструктивных особенностей зданий.

Методология и результаты

Экспериментальные данные были собраны в восьми зданиях района Нарекаци (г. Ереван). *Результаты измерений.* Для каждого из восьми зданий ежедневно измерялась толщина стены (δ) с помощью длинной измерительной линейки и полученные данные фиксировались. Температура наружных стен ($T_{нж}$) измерялась ртутным стеклянным термометром, который закреплялся на стене с помощью бумажной ленты [4, 5]. Термометр оставляли как на внешней, так и на внутренней поверхностях стены в течение шести часов. По истечении точно шести часов снимались показания температуры наружной ($T_{нж}$) и внутренней ($T_{вн}$) поверхностей стен, после чего термометр удаляли. Градиент температуры каждой стены рассчитывался по следующему уравнению:

$$\Delta T_{т.г.} = (T_{нж} - T_{вн}) \cdot \Delta \delta, \quad (1)$$

где $\Delta T_{т.г.}$ - температурный градиент, $T_{нж}$ - температура наружной плоскости стены, $T_{вн}$ - температура внутренней поверхности стены, $\Delta \delta$ - толщина стены.

Результаты, полученные для восьми различных зданий, представлены в таблице.

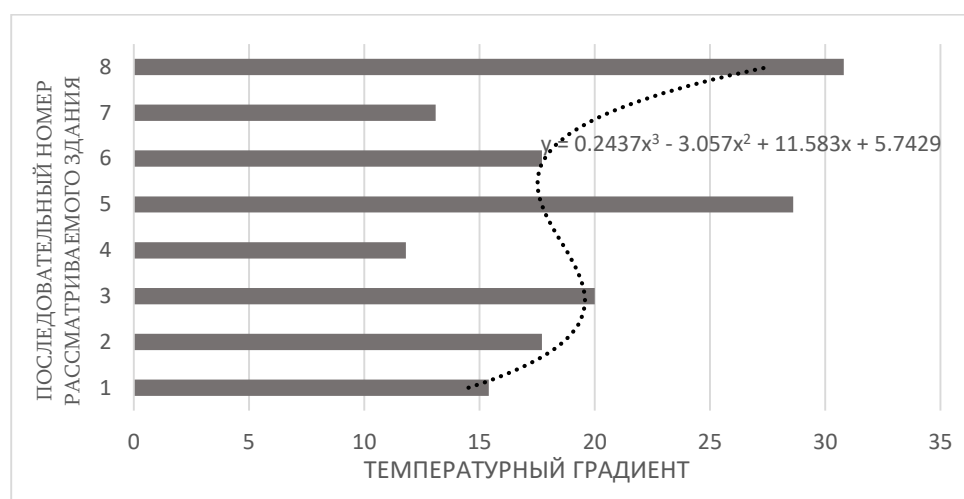
Таблица

Результаты измерений и рассчитанный градиент температуры

Здания	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Толщина стены, $\Delta\delta$, м	0,26	0,17	0,15	0,17	0,14	0,17	0,23	0,13
Температурный градиент, $\Delta T_{т.з.}$, °C	15,4	17,7	20,0	11,8	28,6	17,7	13,1	30,8
Температура наружной плоскости стены, $T_{нж}$, °C	36	37	38	36	39	38	35	38
Температура внутренней поверхности стены, $T_{вн}$, °C	32	34	35	34	35	35	32	34

Обсуждение

Целью данной работы было исследование зависимости температурного градиента от толщины стены как способа контроля теплового потока и передачи тепла в жилых зданиях. Результаты, представленные на рис. 1, показывают вариации температурного градиента в разных зданиях. Здание №8 имеет наибольший температурный градиент, но наименьшую толщину стены, тогда как здание №5 демонстрирует высокий температурный градиент, а здание №4 - самый низкий. Кроме того, в таблице можно наблюдать обратную зависимость между толщиной стены и температурным градиентом, которое более наглядно показано на рис. 2.

**Рис. 2. Температурный градиент по зданиям**

На рис. 1–4 представлены различные графики и диаграмма, которые объясняют взаимосвязь между различными параметрами, используемыми для регулирования температуры стен, тем самым поддерживая прохладу в помещении.

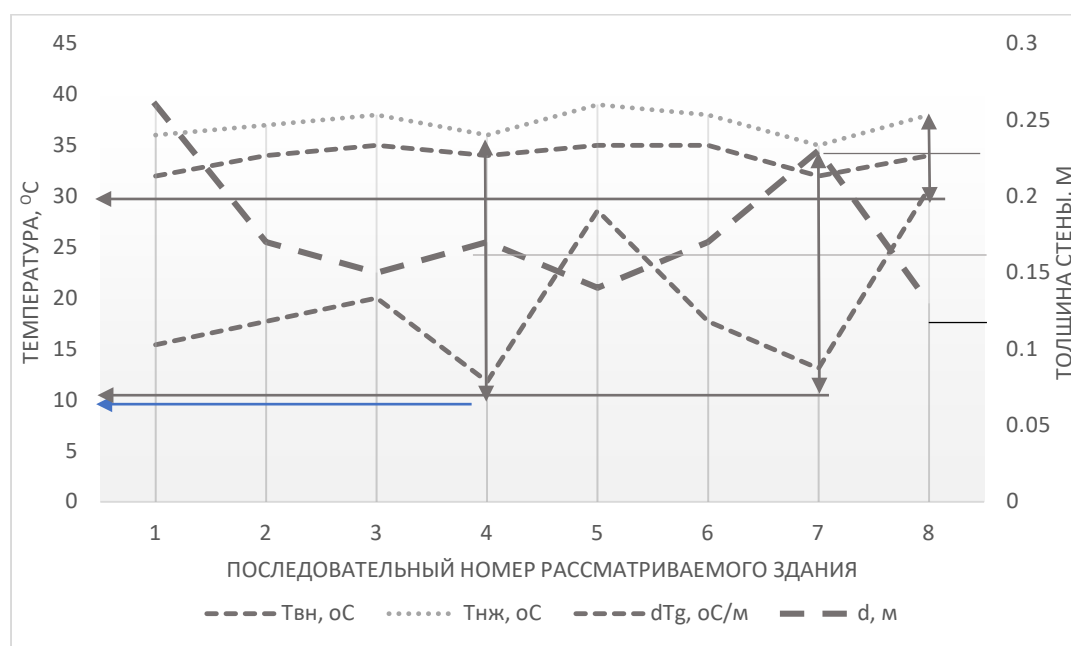


Рис. 2. Зависимость между толщиной стены и температурным градиентом

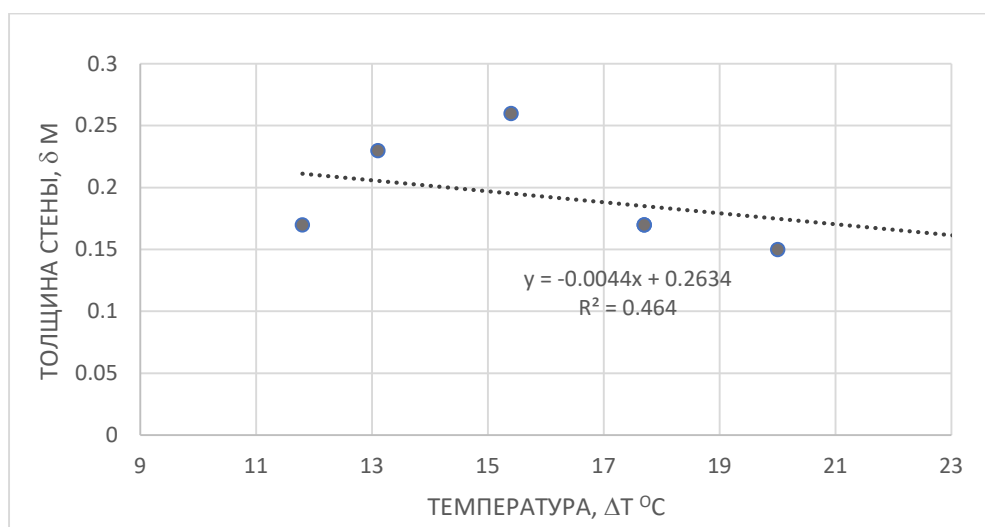


Рис. 3. График градиента температуры в зависимости от толщины стенки

На рис. 3 представлен график зависимости температурного градиента от толщины стены. График показывает, что с увеличением толщины стены тепловой градиент здания уменьшается, согласно уравнению усредняющей линии (2):

$$\Delta T = -0,0044\Delta L + 0,2634 \quad (2)$$

ΔT , представленное в (2), аналогично полученному в аналогичных исследованиях в других работах [6-8]. При увеличении толщины стен температура в помещении, как правило, становится выше, что приводит к увеличению теплопроводности.

Уменьшение толщины стены обычно увеличивает теплопередачу (значит, здание быстрее нагревается), а увеличение толщины стены снижает теплопередачу и помогает сохранить прохладу.

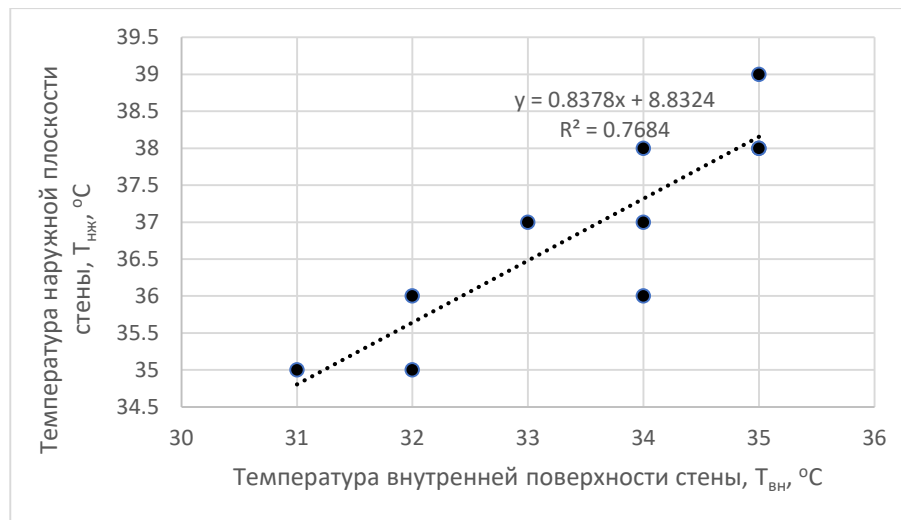


Рис. 4. График зависимости внутренней температуры от внешней температуры

На рис. 3 представлен график зависимости внутренней температуры от внешней. Из графика видно, что между двумя переменными существует прямая пропорциональная связь: с увеличением внешней температуры возрастает и внутренняя температура, а также увеличивается температурный градиент. Это указывает на то, что теплопроводность обратно пропорциональна температурному градиенту. Таким образом, чтобы снизить тепловые потери здания, необходимо увеличить толщину стен, что способствует росту температурного градиента. Температура стены может быть определена с учетом внутренней и внешней температур через порождающую функцию или с помощью уравнения (3):

$$T_{нж} = 0.8378 T_{вн} + 8,8324. \quad (3)$$

Аналогичное уравнение, схожее с (3) было получено в другом исследовании [9-11].

На рис. 4 представлено сравнение внешней и внутренней температур, аналогичное описанному на рис. 1, для восьми исследуемых зданий. Наблюдаемая корреляция между переменными подтверждает, что внутренняя температура пропорциональна внешней: с увеличением температуры внутри здания возрастает и температура снаружи.

В исследовании установлено, что внутренняя температура здания зависит от толщины его стен, причем температура внутри обратно пропорциональна толщине стен. Также наблюдается пропорциональное увеличение внутренней температуры с увеличением внешней. Таким образом, температура стен и температурные градиенты могут использоваться для регулирования температуры помещения, и изменение толщины стен позволяет эффективно контролировать температурный режим здания.

Закключение

Анализ градиента температуры стен в восьми различных зданиях, проведённый в данном исследовании, подтвердил, что температура внешней поверхности стены всегда выше, чем температура её внутренней поверхности. Кроме того, по мере увеличения внешней температуры ($T_{н\text{юс}}$) внутренняя температура ($T_{вн}$) также возрастает, что приводит к увеличению градиента температуры и, соответственно, снижению теплопроводности конструкций здания.

Полученные в ходе исследования параметры могут служить важными расчетными характеристиками при проектировании зданий. Их учет при возведении стен позволит эффективно регулировать внутреннюю температуру помещений, обеспечивая требуемый уровень комфорта и энергоэффективности.

Список литературы

- [1] J. Smith, L. Brown, Thermal Comfort in Modern Buildings, Academic Press., New York, 2015, 320 p.
- [2] K. Andersen, S. Petersen, Measurement of Temperature Gradients in Building Walls, De Gruyter, Berlin, 2019, 270 p
- [3] S. Kim, Heat Transfer in Building Envelopes, Hanul, Seoul, 2014, 340 p.
- [4] Ս.Կ. Քարամյան, Շենքերի ջերմատեխնիկական հարաչափերի գործիքային չափազրույթ. Ուս.մեթ.ձեռն., ՄԱԶԾ, Երևան, 2013, 55 էջ:
- [5] ՀՀՇՆ22-01-2024. Շինարարական կլիմայաբանություն. ՀՀ շինարարական նորմեր, 259 էջ:
- [6] A.N. Alyaev, Thermal Engineering Calculations of Building Enclosures, Stroyizdat, Moscow, 2012, 350 p.
- [7] A.G. Dyakonov, Fundamentals of Building Thermal Physics, Higher School Publishing, Moscow, 2015, 310 p.
- [8] N.A. Kiselev, Building Thermal Physics and Energy Saving, ASV Publishing, Moscow, 2018, 370p.
- [9] O.O. Oyebanjo, O.A. Oyebanjo, Y.O. Ogunlana, Comparison of the Thermal Properties of Some Selected Ceiling Materials for Cost Effectiveness in Nigeria, Journal of Science and Information Technology 17(1) (2022) 27–35.
- [10] N. Gesa, R.A. Atser, I. Aondoakaa, Investigation of the Thermal Insulation Properties of Selected Ceiling Materials Used in Makurdi Metropolis (Benue State, Nigeria), Local Publication, Makurdi, 2014, 45 p.
- [11] N.J. Obianwu, G.T. Akpabio, I.B. Obot, Comparison of Thermal Insulation Efficiency of Some Selected Materials Used as Ceiling in Building Design, Scholars Research Library 2(3) (2010) 253–259.

**ՇԵՆՔՈՒՄ ՄԻԿՐՈԿԼԻՄԱՅԻ ՎԵՐԱՀԱՏՎՈՂՈՒԹՅՈՒՆԸ ՊԱՏԵՐԻ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ
ԳՐԱԴԻԵՆՏԻ ԶԱՓՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ**

Սերգեյ Աշոտի Մինասյան*, Տիգրան Դավիթի Մանուկյան

Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ

**sergey.minasyan@yahoo.com*

Հետազոտության ընթացքում վերլուծվել է պատերի ջերմաստիճանային գրադիենտը, որպես ներքին ջերմային ռեժիմի մշտադիտարկման և կառավարման հիմնական պարամետր: Փորձնական տվյալները հավաքվել են ք. Երևանի Նարեկացի թաղամասի 8 շենքերում: Հետազոտության արդյունքները ցույց են տվել, որ ջերմաստիճանային գրադիենտը տատանվում է $13,1...30,8$ °C/մ սահմաններում: Առավելագույն արժեքը ($30,8$ °C/մ) նշագրվել է ութերորդ շենքում, նվազագույնը ($13,1$ °C/մ)՝ յոթերորդ շենքում: Հաստատվել է, որ ջերմաստիճանային գրադիենտի աճի հետ ներքին ջերմաստիճանը նվազում է, ինչը վկայում է նշված պարամետրերի միջև կոռելյացիոն կապի մասին: Շենքերի ջերմատեխնիկական բնութագրերից երևում է, որ ներքին ջերմաստիճանն ուղիղ կապված է արտաքին ջերմաստիճանի հետ, մինչև ժամանակ ջերմաստիճանային գրադիենտը հակադարձ հարաբերական է պատերի նյութերի ջերմահաղորդականությանը: Վերջինս բնորոշում է շենքի կոնստրուկցիոն տարրերի և արտաքին միջավայրի միջև ջերմափոխանցման ինտենսիվությունը: Հավաքված տվյալների հիման վրա մշակվել են ջերմաֆիզիկական մաթեմատիկական մոդելներ, որոնք թույլ են տալիս քանակական առումով նկարագրել շենքի պատերի ջերմահաղորդականության օրինաչափությունները: Գրաֆիկական վերլուծության միջոցով ստացված հավասարումները կարող են օգտագործվել ջերմատեխնիկական հաշվարկներում և շենքերի նախագծման գործընթացում, որպեսզի ապահովվի ներքին ջերմային ռեժիմի օպտիմալացումը՝ համապատասխանելով նորմատիվային պահանջներին: Հետազոտության արդյունքները հաստատում են արտաքին և ներքին ջերմային բեռնվածությունների, նաև պատերի ջերմաստիճանային գրադիենտի ընդհանուր հաշվառման անհրաժեշտությունը՝ շենքերի ներքին միկրոկլիմայի կառավարման արդյունավետության բարձրացման նպատակով:

Բանալի բառեր. ջերմաստիճան, ջերմաստիճանի գրադիենտ, ջերմահաղորդականություն, ջերմային ճառագայթում, միկրոկլիմա

CONTROL OF MICROCLIMATE IN A BUILDING BY MEASURING THE TEMPERATURE GRADIENT OF WALLS

Sergey Minasyan*, Tigran Manukyan

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA

**sergey.minasyan@yahoo.com*

In this study, the temperature gradient of walls was analyzed as a parameter for monitoring and controlling the internal temperature of rooms. Experimental data were collected in eight buildings in the Narekatsi district (Yerevan). The measurement results showed that the temperature gradient varies in the range from 13.1°C/m to 30.8°C/m. The maximum value (30.8°C/m) was recorded in the eighth building, while the minimum (13.1°C/m) was in the seventh. It was established that a higher temperature gradient correlates with lower values of internal temperature. Analysis of the relationships between temperature regime parameters revealed that the internal temperature of rooms linearly depends on the external temperature, while the temperature gradient is inversely proportional to the thermal conductivity coefficient, which determines the intensity of heat exchange between the structural elements of the building and the environment. Based on the obtained data, thermal mathematical models were developed that describe the thermodynamic characteristics of the building envelope structures. The derived equations, obtained by methods of graphical analysis, can be used as calculation parameters in building design, allowing the optimization of the internal temperature regime in accordance with regulatory requirements. The results of the study confirm the need for a comprehensive accounting of external and internal temperature loads, as well as the temperature gradient of walls to improve the efficiency of managing microclimatic conditions inside rooms.

Keywords: *temperature, temperature gradient, thermal conductivity, heat radiation, microclimate*

Մինասյան Սերգեյ Աշոտի, տ.գ.դ., պրոֆեսոր (ՀՀ, ք. Երևան) – ՃՀՀԱՀ, ՋԳՄՕ ամբիոն, (+374)91408689, sergey.minasyan@yahoo.com, **Մանուկյան Տիգրան Դավիթի** (ՀՀ, ք. Երևան) – ՃՀՀԱՀ, ՋԳՄՕ ամբիոն, հայցորդ, (+374)33373708, myan_tigran@mail.ru

Минасян Сергей Ашотович, д.т.н., профессор (РА, г. Ереван) - НУАКА, кафедра Теплогазоснабжения и вентиляции, (+374)91408689, sergey.minasyan@yahoo.com, **Манукян Тигран Давидович** (РА, г. Ереван) - НУАКА, кафедра Теплогазоснабжения и вентиляции, соискатель, (+374)33373708, myan_tigran@mail.ru
Minasyan Sergey, D.Sc., Professor (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of ventilation, gas and heat supply, (+374)98429265, sergey.minasyan@yahoo.com, **Manukyan Tigran** (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of ventilation, gas and heat supply, PHD student, (+374)33373708, myan_tigran@mail.ru

Ներկայացվել է՝ 30.04. 2025թ.

Գրախոսվել է՝ 26.05.2025թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 29.08.2025թ.