

УДК 628.87

Петров Артем Сергеевич

кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: ruarty@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Забирова Айгуль Ильдаровна

архитектор

E-mail: zabirova21@mail.ru

ООО «ПИК-Проект»

Адрес организации: 123022, Россия, г. Москва, ул. Красная Пресня, д. 24, к. 60

К вопросу обеспеченности уровня теплового комфорта в жилых квартирах с учетом индексов PMV и PPD

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – произвести натурное исследование параметров микроклимата в помещениях нескольких жилых квартир г. Казани. По полученным данным произвести оценку теплового комфорта в помещениях квартир, используя индексы PMV и PPD, согласно международному стандарту ISO 7730.

Результаты. Выявлено несоответствие уровня теплового комфорта для исследованных квартир по требованиям международного стандарта. Определено наличие и местоположение зон теплового комфорта и дискомфорта в квартирах с указанием субъективной оценки жильцами по расчетному индексу PMV и PPD. Показана стихийность складываемых условий микроклимата в жилых квартирах.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в выявлении факта, что необходимый уровень теплового комфорта в помещениях не обеспечивается для всех жильцов одновременно. Данный факт вызван различным уровнем метаболизма у каждого человека, который лежит в основе процессов теплообмена. Полученные знания позволяют сформулировать подход к повышению качества теплового комфорта на этапе проектирования, который состоит в повышении вариативности параметров микроклимата в пределах одной квартиры.

Ключевые слова: микроклимат, эквивалентно-эффективная температура, санитарно-гигиенические требования, индекс теплового комфорта, жилые помещения.

Введение

Комфортный микроклимат обуславливает физическое и психическое здоровье человека, его трудовую активность. Микроклимат рассматривают с технической точки зрения и по теплоощущениям человека. В первом случае требования к микроклимату установлены исходя из необходимости создания благоприятных санитарно-гигиенических условий, согласно федеральному закону № 84 (статья 29). Требуемые величины указанных параметров микроклимата изложены в ГОСТ 30494-2011, СанПиН 2.1.2.2645. Теплоощущения человека при этом зависят от сочетания параметров микроклимата помещения, и оцениваются человеком в зависимости от его возраста, пола, физической или умственной активности и др. Субъективные тепловые ощущения человека могут быть успешно определены расчетным методом через статистический параметр – индекс теплового комфорта. Данным методикам расчета посвящено множество работ, в частности ряд исследований [1-4] показывает успешное применение средств математического моделирования с целью анализа распределения параметров микроклимата и индекса PMV по всему объему помещения. Существуют попытки определения параметров микроклимата с заранее заданным уровнем комфорта [5], баланса между источником тепла, человеком и ограждающими конструкциями для зимнего и летнего периодов [6]. Аналитическое определение теплового комфорта закреплено в международных нормативных документах (ISO 7730, ISO 13732-2, ISO 7726), однако на текущий момент на этапе проектирования жилых зданий подобные

расчеты не выполняются, а учитываемые параметры микроклимата часто не связаны между собой. Так, не связаны между собой расчеты санитарно-гигиенических требований теплозащиты, отопления, инсоляции, воздухообмена, в то время как именно их сочетание определит итоговый режим микроклимата помещения [7]. В данных обстоятельствах итоговый микроклимат помещений складывается случайным образом, который можно оценить по указанным методикам лишь после сдачи здания в эксплуатацию.

Методология исследования теплового комфорта помещений

Оценка субъективных ощущений по экспериментальным данным может быть проведена путем расчета различных биометеорологических индексов. ЭЭТ (эквивалентная эффективная температура), введенная Б.А. Айзенштадтом [8], позволяет оценить теплоощущения человека с учетом движения воздуха:

$$\text{ЭЭТ} = 37 - \frac{37 - t}{0,68 - 0,0014f + \frac{1}{1,76 + 1,4v^{0,75}}} - 0,29t(1 - \frac{f}{100}), \quad (1)$$

где t – температура воздуха, °С; f – относительная влажность воздуха, %; v – средняя скорость ветра.

Теплоощущения с учетом радиационной температуры РЭЭТ, согласно Е.Г. Головиной [9]:

$$\text{РЭЭТ} = 12 \lg[1 + 0,025t + 0,001(t - 8)(f - 60) - 0,45(33 - t)\sqrt{v} + 185b], \quad (2)$$

где t – температура воздуха, °С; f – относительная влажность воздуха, %; v – скорость ветра, м/с; b – поглощенная поверхностью тела солнечная радиация, кВт/м².

Существует и множество других подобных методов [10], однако все они базируются на объективизации результатов с помощью статистики ответов на вопрос о самочувствии. То есть, данные методы не основаны на реальных физических процессах теплового баланса, а являются эмпирическими построениями. По этой причине данные подходы не получили своего дальнейшего развития и в текущем исследовании не рассматриваются.

Отличием от указанных методов является подход П.О. Фангера, который предложил использовать ясные принципы термодинамики, лежащие в основе работы механизмов терморегуляции организма [11, 12]. Согласно методу, показатель комфорта PMV пропорционален разности между тепловыделением (метаболизм) – M и теплопотерями – W , а именно $\text{PMV} = A \cdot (M - W)$. То есть уровень комфорта PMV определяется путем решения уравнения теплового баланса между телом человека и окружающей средой. При этом если $M > W$, то происходит перегрев организма с ощущением «тепла», «жары» и т.п. В противном случае происходит охлаждение организма с ощущением «прохлады», «холода». Данный метод в настоящее время положен в основу международного стандарта ISO 7730 и решается по выражению:

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & [0,303 \exp(-0,036M) + 0,028 \times (M - W) - 3,05 \times 10^{-3} [5733 - \\ & - 6,99 \times (M - W) - p_a] - 0,42 \times (M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} \times M (5867 - \\ & - p_a) - 0,0014 \times M (34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times (t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a), \end{aligned} \quad (3)$$

где M – скорость обмена веществ, Вт/м²; W – теплообмен в результате внешней механической работы, Вт/м²; I_{cl} – коэффициент теплоизоляции одежды, м²·К/Вт; f_{cl} – коэффициент площади поверхности одежды; t_a – температура воздуха, °С; \bar{t}_r – средняя температура излучения, °С; v_{ar} – скорость движения воздуха, м/с; p_a – парциальное давление водяного пара, Па; h_c – коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м²·К); t_{cl} – температура поверхности одежды, °С. При этом значения изоляционных характеристик одежды I_{cl} можно получить согласно ISO 9920 (Оценка теплоизоляционных свойств и стойкости к испарению комплектов одежды).

Результаты расчета PMV в баллах интерпретируется соответствующим ощущением микроклимата, табл. 1. При этом допустимые значения баллов для здоровых людей находятся в интервале от –0,5 до +0,5, для людей с заболеваниями и пожилого возраста от 0 до +0,5. Скорость обмена веществ M в выражении (3) имеет существенное значение для результата расчета и является при этом наименее предсказуемым, так как зависит от индивидуальных особенностей организма каждого человека. В связи с этим последние

исследования в этой области вносят некоторую критику этого метода, называя его «чересчур прямолинейным» [13]. Критика состоит в том, что сильное напряжение систем терморегуляции может поддерживать тепловой баланс ($PMV=0$), однако это состояние будет восприниматься негативно как дискомфортное.

Таблица 1

Шкала субъективных ощущений теплового баланса

Оценка в баллах	Ощущения человека	Соответствие требованиям	
		Для подростков и среднего возраста	Для пожилого возраста
+3	Жарко	Недопустимо	Недопустимо
+2	Тепло		
+1	Немного тепло		
+0,5	Нейтрально	Допустимо	Допустимо
0			
-0,5			
-1	Немного прохладно	Недопустимо	Недопустимо
-2	Прохладно		
-3	Холодно		

Более того, согласно медицинским исследованиям у здоровых пожилых людей заметно снижается уровень общего метаболизма, снижается чувствительность к температуре и замедляется терморегуляция. Поэтому даже при субъективном комфорте у пожилых людей могут наблюдаться частые случаи гипотермии. Данные явления не учитываются в расчете индекса PMV , а статистический опрос людей о самочувствии, требуемый для разработки бальной системы, происходил только среди совершеннолетних людей, не включая пожилой и детский возраст. В связи с этим фактом был введен дополнительный нормативный документ ГОСТ Р 53453 уточняющий величину M и границы комфорта к людям с особыми требованиями. Так, например, рекомендуется учитывать факт сниженной физической активности инвалидов и пожилых людей, используя при расчетах более низкий уровень теплопродукции (M в интервале 58-69 Вт/м² против интервала 58-120 Вт/м² у подростков и среднего возраста). Комплексные исследования проводимые в этой области всемирной организацией здравоохранения и ряда исследователей [14] позволяют говорить о среднестатистических закономерностях изменения метаболизма от вида деятельности, массы тела, роста, пола и возраста человека. По рис. 1 можно видеть, что метаболизм увеличивается до наступления возраста 17-18 лет, после чего планомерно снижается.

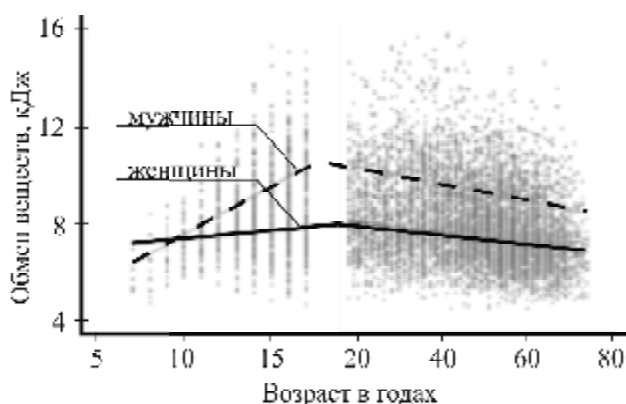


Рис. 1. Зависимость скорости обмена веществ от пола и возраста человека как фактор, влияющий на индекс PMV помещений жилых зданий [14]

Так, в среднем, уровень обмена веществ пожилого мужчины 80-ти лет на 15-18 % ниже, чем у подростка 17-и лет. У женщин изменения метаболизма менее выражены, при

этом общий уровень метаболизма ниже, чем у мужчин. Независимо от указанных неясностей, подход П.О. Фангера на текущий момент является наиболее обоснованным и перспективным. Таким образом методика ISO 7730 и рекомендации ГОСТ Р 53453 об учете изменения метаболизма от возраста человека и его активности были взяты за основу при исследовании теплового комфорта нескольких жилых квартир г. Казани.

Натурное исследование параметров микроклимата жилых квартир

С целью оценки фактического теплового комфорта в помещениях, был проведен анализ микроклимата трех жилых квартир по улице Лукина и улице Гаврилова г. Казани. При этом в исследовании были сформулированы следующие задачи:

- экспериментальное измерение характеристик микроклимата в помещениях эксплуатируемых жилых квартир;
- оценка субъективных ощущений комфорта по индексу PMV и PPD;
- выявление зон комфорта и дискомфорта в квартире в зависимости от вида деятельности и возраста человека;
- оценка соответствия теплового комфорта нормативным требованиям.

В работе исследовались квартиры с высотой этажа 2,8 м в панельных зданиях со схожей планировочной системой (рис. 2). На рисунке можно видеть расчетные точки, в которых были экспериментально получены микроклиматические параметры, такие как температура и влажность воздуха, температура окружающих поверхностей. Измерения проводились в характерный день холодного периода года в середине дня 10 февраля с использованием термогигрометра и пирометра. Местоположение расчётных точек выбиралось исходя из реальных видов деятельности жильцов и длительности пребывания в них.



Рис. 2. Планировочные схемы исследуемых квартир с указанием расчетных точек для измерения параметров микроклимата (иллюстрация авторов)

По выражению (3) были определены значения PMV для каждой расчетной точки исследуемых квартир. Ниже приводятся исходные данные расчета на примере одной расчетной точки в зоне гостиной для сидячей работы людей среднего возраста, табл. 2. Метод расчета, согласно ISO 7730, основан на методе математических итераций и в текущем исследовании выполнялся в программном комплексе Microsoft Excel. По результатам расчета индексов PMV и PPD каждой расчетной точки получены планировочные схемы квартир с указанием комфортных и дискомфортных зон (табл. 3). Закрашенные участки соответствуют недопустимым уровням комфорта (зоны дискомфорта), а участки, которые не закрашены – нейтральным тепловым ощущениям. Можно видеть, что в исследуемых квартирах наиболее комфортно себя ощущают подростки, так как при их уровне активности величина метаболизма несколько выше остальных возрастных групп.

холодные зоны. По качеству микроклимата, вне зависимости от возраста человека, во всех квартирах присутствуют зоны с недопустимыми уровнями теплового комфорта. Стоит отметить, что данные результаты получены лишь для одного характерного дня холодного периода года, то есть не могут расцениваться как неизменные. Однако, очевидно, что полученные результаты демонстрируют стихийность складываемых условий микроклимата, как в пределах одной квартиры, так и различия микроклимата между квартирами со схожими планировочными и конструктивными системами.

Пути решения проблем теплового комфорта в жилых помещениях

Частично проблема дискомфорта нивелируется личным выбором домашней одежды жильцов. Однако, с целью достижения комфорта в «холодных» зонах, потребуется комплект одежды с теплозащитными характеристиками уличной одежды, где $I_{cl} > 1,35$ кло, что не может быть оптимальным решением. Одним из путей решения проблемы может быть внедрение системы контроля микроклимата самими жильцами, эффективность такого подхода показана рядом авторов в экспериментальном исследовании [15]. Однако на текущий момент данный подход в отечественной практике не развит. Из архитектурных инструментов решения проблемы стоит выделить следующие:

1. Архитектурно-планировочное решение здания, к которому можно отнести объем, ориентацию помещений по сторонам света (с целью прогрева солнечным облучением или солнцезащиты [16]) и др.;
2. Проектирование теплозащитной оболочки здания по условиям теплового комфорта;
3. Выбор системы отопления (например, теплыми полами можно регулировать тепловой режим отдельных зон);
4. Выбор мебели с различными значениями их теплоизоляции (например, для пожилых людей следует использовать мягкую и кожаную мебель в интерьере помещения с высоким значением теплоизоляции);
5. Выбор осветительных приборов соответствующей мощности (дополнительный нагрев воздуха от источников излучения).

Заключение

Проведенное исследование позволило установить, что на момент испытания микроклимат помещений жилых квартир складывался стихийно и тепловой комфорт в них не обеспечивался как в пределах одной квартиры, так и для различных возрастных групп жителей. Это может объясняться не учетом ряда параметров на стадии проектирования жилых зданий, а именно физической активности молодых и пожилых людей, уровня метаболизма и пр. Однократное натурное испытание недостаточно для формирования общих выводов по проблеме, однако очевидно, что на текущий момент требуются комплексные научные исследования и накопление статистической базы для выработки научно-обоснованных рекомендаций по проектированию теплового комфорта в квартирах жилых зданий.

Список библиографических ссылок

1. Гильмутдинов Р. Ф., Зиганшин М. Г., Мисбахов Р. М. Численные исследования обогрева помещений приборами лучистого отопления и его энергоэффективности : сб. трудов IV Всероссийской научно-практической конференции (заочной). Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья / ТГУ. Тольятти, 2015. С. 107–112.
2. Денисихина Д. М. Оценка теплового комфорта в помещениях на основе анализа результатов математического моделирования // Вестник ТГАСУ. 2015. № 3. С. 183–193.
3. Денисихина Д. М. Конвективно-радиационный теплообмен человека в задачах математического моделирования распределенных параметров микроклимата в помещениях // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 38 (57). С. 143–150.
4. Sugiono S., Dewi Hardiningtyas. Thermal Comfort Investigation Based On Predicted Mean Vote (PMV) Index Using Computation Fluid Dynamic (CFD) Simulation (Case Study: University of Brawijaya, Malang-Indonesia) // International Science Index. 2014. Vol. 8. № 11. Part X. P. 612–618.

5. Поддубный Р. А., Рябова Т. В., Сулин А. Б. Построение матриц изокомфортных значений параметров микроклимата // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. № 2 (41). С. 68–74.
6. Deshko V. I., Buyak N. A model of human thermal comfort for analyzing the energy performance of buildings // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 4. № 8 (82). P. 42–48.
7. Перехоженцев А. Г. Нормирование сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий по условию теплового комфорта в помещении // Вестник МГСУ. 2016. № 2. С. 173–185.
8. Айзенштадт Б. А. Метод расчета некоторых биоклиматических показателей // Метеорология и гидрология. 1964. № 12. С. 9–16.
9. Головина Е. Г., Трубина М. А. Методика расчетов биометеорологических параметров (индексов). СПб. : Гидрометеиздат, 1997. 110 с.
10. Рябова Т. В., Сулин А. Б., Санкина Ю. Н. Обоснование и расчет эквивалентных параметров теплового комфорта помещения // Вестник международной академии холода. 2018. № 2. С. 78–84.
11. Fanger P. O. Thermal Comfort. McGrawHill, 1970. 244 p.
12. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека. М. : Стройиздат, 1981. 248 с.
13. Тимофеева Е. И., Федорович Г. В. Экологический мониторинг параметров микроклимата. Монография. М. : НТМ-защита. 2005. 194 с.
14. Stefano Lazzer, Giorgio Bedogni, Claudio L. Lafortuna, Nicoletta Marazzi, Carlo Busti, Raffaella Galli, Alessandra de Col, Fiorenza Agosti, Alessandro Sartorio. Relationship Between Basal Metabolic Rate, Gender, Age, and Body Composition in 8,780 White Obese Subjects // Obesity. 2012. Vol. 18. № 1. P. 71–78.
15. Zhou X., Ouyang Q., Zhu Y., Feng C., Zhang X. Experimental study of the influence of anticipated control on human thermal sensation and thermal comfort // Indoor Air. 2014. Vol. 24. P. 171–177.
16. Гайдук А. Р. Современные солнцезащитные устройства и возможность их применения // Самарский научный вестник. 2017. № 3. С. 202–206.

Petrov Artem Sergeevich

candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: ruarty@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Zabirova Aygul Ildarovna

architect

E-mail: zabirova21@mail.ru

LLC «PIK-project»

The organization address: 123022, Russia, Moscow, Krasnaya Presnya st., 24, of. 60

**On the issue of the level of thermal comfort in residential apartments,
taking into account the PMV and PPD indices****Abstract**

Problem statement. The purpose of the study is to conduct a full-scale study of the microclimate parameters in the premises of several residential apartments in Kazan. According to the data obtained, to assess the thermal comfort in the premises of the apartments, using the PMV and PPD indices, according to the international standard ISO 7730.

Results. The discrepancy between the level of thermal comfort for the studied apartments according to the requirements of the international standard was revealed. The presence and location of zones of thermal comfort and discomfort in the apartments was determined, indicating the subjective assessment of tenants according to the calculated PMV and PPD index. The spontaneity of the folding microclimate conditions in residential apartments is shown.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry consists in identifying the fact that the required level of thermal comfort in the premises is not ensured for all residents at a time. This fact is caused by a different level of metabolism in each person, which is the basis of heat exchange processes. The knowledge gained allows to formulate an approach to improving the quality of thermal comfort at the design stage, which consists in increasing the variability of microclimate parameters within one apartment.

Keywords: microclimate, equivalent-effective temperature, sanitary and hygienic requirements, thermal comfort index, residential premises.

References

1. Gil'mutdinov R. F., Ziganshin M. G., Misbahov R. M. Numerical studies of space heating with radiant heating devices and its energy efficiency : dig. of art. All-Russian scientific-practical conference (in absentia). Urban planning, reconstruction and engineering support for sustainable development of the Volga cities / TSU. Tol'yatti, 2015. P. 107–112.
2. Denisihina D. M. Evaluation of thermal comfort in the premises based on the analysis of the results of mathematical modeling // Vestnik TGASU. 2015. № 3. P. 183–193.
3. Denisihina D. M. Convective-radiative heat exchange of a person in the problems of mathematical modeling of distributed microclimate parameters in rooms // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2014. № 38 (57). P. 143–150.
4. Sugiono S., Dewi Hardiningtyas. Thermal Comfort Investigation Based On Predicted Mean Vote (PMV) Index Using Computation Fluid Dynamic (CFD) Simulation (Case Study: University of Brawijaya, Malang-Indonesia) // International Science Index. 2014. Vol. 8. № 11. Part X. P. 612–618.
5. Poddubnyj R. A., Rjabova T. V., Sulin A. B. Construction of matrices of isocomfort microclimate parameters // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2016. № 2 (41). P. 68–74.
6. Dешко V. I., Buyak N. A model of human thermal comfort for analyzing the energy performance of buildings // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 4. № 8 (82). P. 42–48.
7. Perezhencev A. G. Rationing of heat transfer resistance of external fencing of buildings according to the condition of thermal comfort in the room // Vestnik MGSU. 2016. № 2. P. 173–185.
8. Aizenshtadt B. A. Method of calculation of some bioclimatic indices // Meteorologiya i gidrologiya. 1964. № 12. P. 9–16.
9. Golovina E. G., Trubina M. A. Methods of calculation of biometeorological parameters (indices). SPb. : Gidrometeoizdat, 1997. 110 p.
10. Rjabova T. V., Sulin A. B., Sankina Ju. N. Justification and calculation of equivalent parameters of thermal comfort of the room // Vestnik mezhdunarodnoj akademii holoda. 2018. № 2. P. 78–84.
11. Fanger P. O. Thermal Comfort. McGrawHill, 1970. 244 p.
12. Banhidi L. Thermal Microclimate of Premises. Calculus of the Comfort Parameters of Human Thermal Feelings. M. : Stroyizdat, 1981. 248 p.
13. Timofeeva E. I., Fedorovich G. V. Ecological monitoring of microclimate parameters. Monografija. M. : NTM-zashhita. 2005. 194 p.
14. Stefano Lazzer, Giorgio Bedogni, Claudio L. Lafortuna, Nicoletta Marazzi, Carlo Busti, Raffaella Galli, Alessandra de Col, Fiorenza Agosti, Alessandro Sartorio. Relationship Between Basal Metabolic Rate, Gender, Age, and Body Composition in 8,780 White Obese Subjects // Obesity. 2012. Vol. 18. № 1. P. 71–78.
15. Zhou X., Ouyang Q., Zhu Y., Feng C., Zhang X. Experimental study of the influence of anticipated control on human thermal sensation and thermal comfort // Indoor Air. 2014. Vol. 24. P. 171–177.
16. Gajduk A. R. Modern sunscreen devices and their applicability // Samarskij nauchnyj vestnik. 2017. № 3. P. 202–206.