

УДК 628.852.3, 51-74

Оценка радиационных эффектов при обогреве помещений плинтусной системой отопления закрытого типа

Скрипка Алексей Олегович

skripkaao@student.bmstu.ru

Хандрамай Никита Андреевич^(*)

bagamawa@gmail.com

SPIN-код: 3691-8733

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлены методика и результаты математического моделирования поля радиационной температуры в помещении. Методика основана на аналитическом расчете лучистых потоков между сегментами поверхностей и малыми изотермическими объемами, заполняющими пространство комнаты. Продемонстрированы результаты в виде полей радиационных температур для помещений с варьируемой длиной L и температурой поверхности панельно-лучистых (плинтусных) систем отопления. Показано изменение радиационной температуры по высоте помещения. Исходные данные о температурных профилях поверхностей получены в результате предварительного CFD-моделирования в ANSYS CFX.

Ключевые слова: численное моделирование, микроклимат, радиационная температура, угловые коэффициенты, тепловой комфорт, плинтусные системы отопления

Assessment of radiation effects from closed-type skirting board heating systems

Skripka Alexey Olegovich

skripkaao@student.bmstu.ru

Khandramai Nikita Andreevich^(*)

bagamawa@gmail.com

SPIN-code: 3691-8733

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. This paper presents a methodology and results of mathematical modeling of the radiant temperature field in a room. The methodology is based on an analytical calculation of radiant heat fluxes between surface segments and small isothermal volumes filling the room's space. Results are demonstrated in the form of radiant temperature fields for rooms with varying length L and surface temperature of baseboard-type radiant panel heating systems. The variation of the radiant temperature along the room height is shown. Initial data on surface temperature profiles were obtained from preliminary CFD modeling in ANSYS CFX.

Keywords: numerical simulation, indoor climate, radiant temperature, view factors, thermal comfort, baseboard heating systems

Введение. Анализ тепловых процессов в помещениях является ключевой задачей в области проектирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования. Одним из наиболее значимых, но часто недооцениваемых аспек-

тов теплообмена в помещениях является передача энергии посредством теплового излучения [1]. В отличие от конвекции, которая зависит от движения воздуха, радиационный теплообмен осуществляется посредством взаимодействия излучения с телом и играет решающую роль в формировании теплового комфорта для человека [2], особенно при наличии источников распределенного тепла, таких как плинтусные системы отопления. Традиционные подходы к расчету, основанные преимущественно на упрощенных моделях, такие как [3], могут давать неточные результаты, поскольку игнорируют или упрощают вклад радиационной составляющей, что делает разработку специализированных численных моделей весьма актуальной.

Целью данной работы является разработка в среде MATLAB модели для расчета радиационных температур, характерных для работы все более востребованных панельно-лучистых систем отопления [4, 5]. Ключевым практическим результатом применения модели становится возможность точного вычисления средней радиационной температуры (Mean Radiant Temperature, MRT). Данный параметр необходим для определения интегральных показателей теплового комфорта, регламентированных стандартом [6] (например, PMV), и представляет значительную ценность для инженеров-проектировщиков и расчетчиков, ответственных за контроль качества тепловой среды.

Материалы и методы. Модель реализована на основе представления о плоской комнате [7]. Моделируемое помещение представлено в виде двумерного сечения (в плоскости XY) с габаритами $L \times H$ и варьируемой толщиной $Z_{\max} = 0,01 \dots 100$ м. Все тела в рамках упрощения считались АЧТ. В нижних левом и правом углах помещения расположены источники теплового излучения — плинтусные системы (ПС), габаритные параметры которых $X_{PS} = 0,02$ м и $Y_{PS} = 0,14$ м. Поверхности помещения сегментированы на элементарные полосы с известными температурными профилями. Для данной работы распределение температур получено в результате предварительного моделирования в ANSYS CFX. Температура поверхности плинтусных систем принималась равной 50, 70, 90 °С. Через пол и потолок заданы стоки теплового потока, величина которых зависела от разницы температур между воздухом и плинтусными системами по следующей зависимости: $q = 0,0019 \times \Delta T^2 + 0,3411 \cdot \Delta T - 0,2278$ Вт/м².

Внутренний объем помещения дискретизирован на множество изотермических кубических элементов (ячеек) с размерами $dx \times dy \times dz$. Предоставлена возможность управления детализацией сетки путем прямого задания размеров ячеек (dx, dy) или их количества (N_x, N_y).

Расчет лучистого теплового потока, падающего на каждую грань каждого изотермического элемента от всех сегментов излучающих поверхностей, проводился на основе строгого геометрического анализа взаимной видимости. В зависимости от взаимной ориентации излучающего сегмента и облучаемой грани для расчета плотности падающего теплового потока q (Вт/м²) применялась одна из трех аналитических формул. Формулы получены на ос-

нове закона Стефана — Больцмана и интегрирования угловых коэффициентов [8] для элементарных полос.

Схематичное изображение приходящих потоков от сегмента поверхности на изотермический куб изображено на рис. 1.

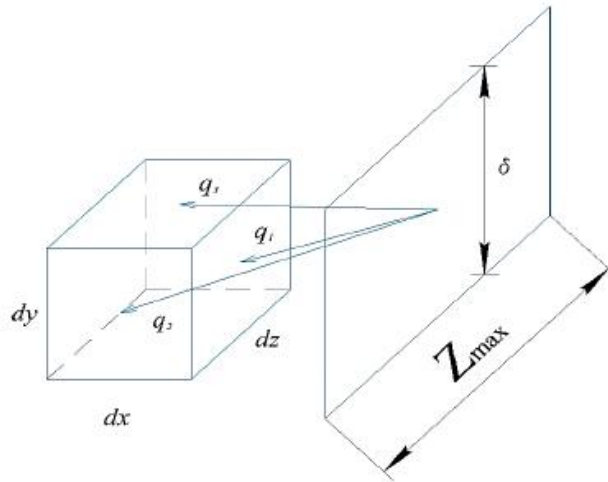


Рис. 1. Схема облучения изотермического куба сегментом поверхности

Тепловой поток Q_{ik} (Вт) приходящий в k -ю грань i -го изотермического куба определялся по формуле:

$$Q_{ik} = \sum_j q_{ikj} S_{ik},$$

где q_{ikj} — тепловой поток, испускаемый j -м сегментом поверхности и поглощенный k -й гранью i -го изотермического куба; S_{ik} — площадь k -й грани i -го изотермического куба.

Суммарный тепловой поток Q_i (Вт), поглощаемый i -м изотермическим кубом, вычислялся как сумма потоков, приходящих во все его шесть граней:

$$Q_i = \sum_{k=1}^6 Q_{ik}.$$

Равновесная радиационная температура $T_{rad i}$ (К) для каждого элемента определялась из условия равенства поглощаемой и переизлучаемой им энергии по закону Стефана — Больцмана:

$$T_{rad i} = \sqrt[4]{\frac{Q_i}{\sigma \cdot S_i}},$$

где S_i — площадь поверхности изотермического куба.

Результаты. Поля радиационных температур, полученное в результате моделирования для различного случая, представлены на рис. 2. Для визуализации был выбран диапазон от 10 до 60 °С, который охватывает всю зону теплового комфорта и прилегающие к ней области дискомфорта. Выбор данного диапазона обоснован необходимостью наглядного отображения условий комфорта: верхняя граница (60 °С) соответствует порогу возникновения ощущения ожога, а нижняя (10 °С) — зоне выраженного холодового дискомфорта.

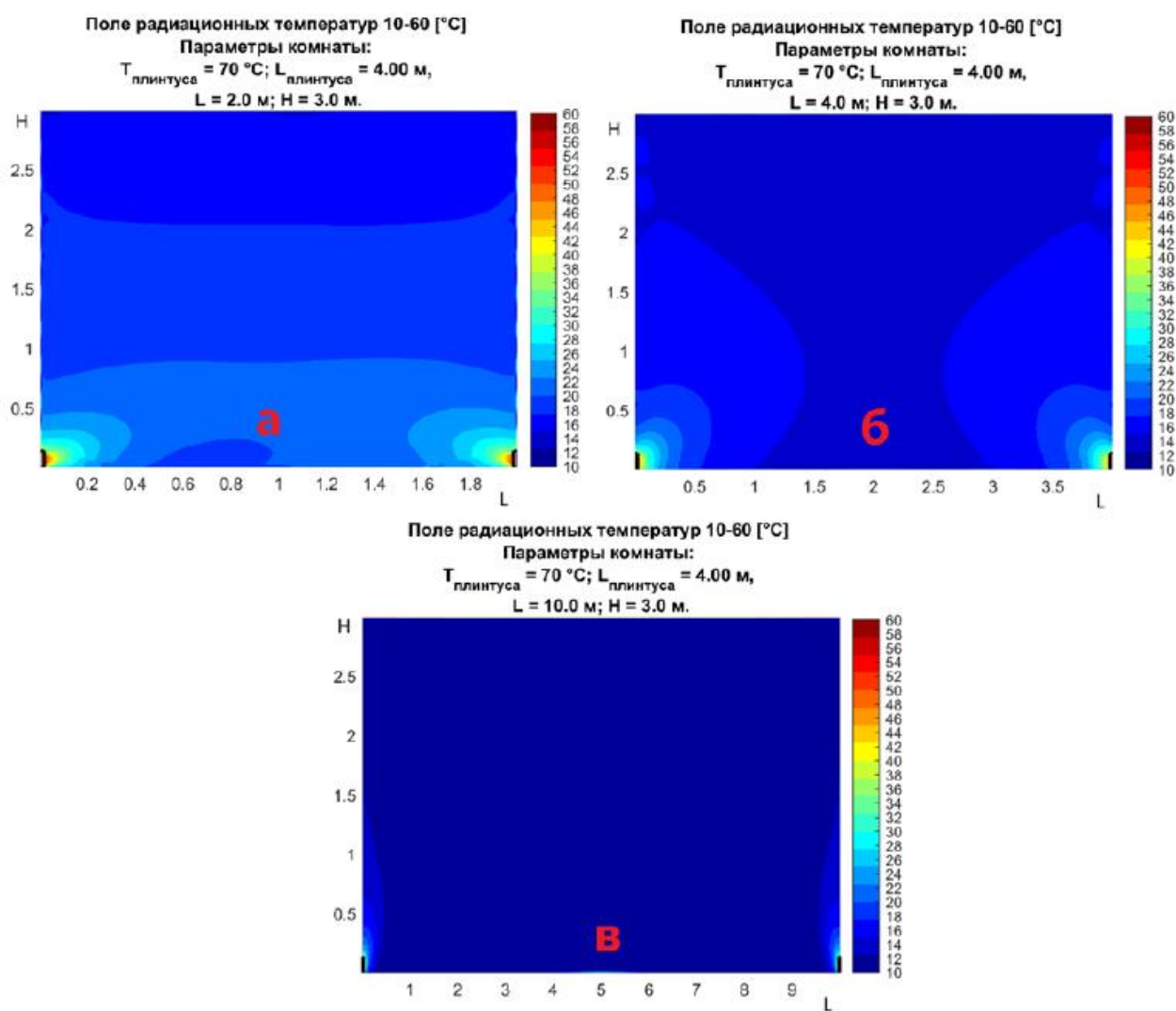


Рис. 2. Поля радиационных температур при различных параметрах помещения при использовании плинтусного отопления нагретой до 70 °С:

а — соответствуют длине комнаты $L = 2\text{ м}$; б — соответствуют длине комнаты $L = 4\text{ м}$; в — соответствуют длине комнаты $L = 10\text{ м}$

На рис. 3 продемонстрирована зависимость радиационных температур от вертикальной координаты в помещении высотой $H = 3\text{ м}$ при использовании плинтусной системы длиной $Z = 4\text{ м}$ для исследуемых случаев:

$T_{\text{воздух}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $L = 2, 4, 10\text{ м}$ для $T_{\text{пл}} = 50, 70, 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, а также $T_{\text{воздух}} = 10, 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $L = 4\text{ м}$ для $T_{\text{пл}} = 50, 70, 90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Исходя из представленных полей становится очевидно, что для узких помещений ($L \leq 4\text{ м}$) радиационная температура, получаемая в результате сложного комплексного взаимодействия гидродинамики восходящих свободно-конвективных потоков, темперирующих стены и области пола, и в результате излучения нагретых поверхностей на те же элементы ограждений в помещении оказывает существенное влияние на тепловой режим среды помещения.

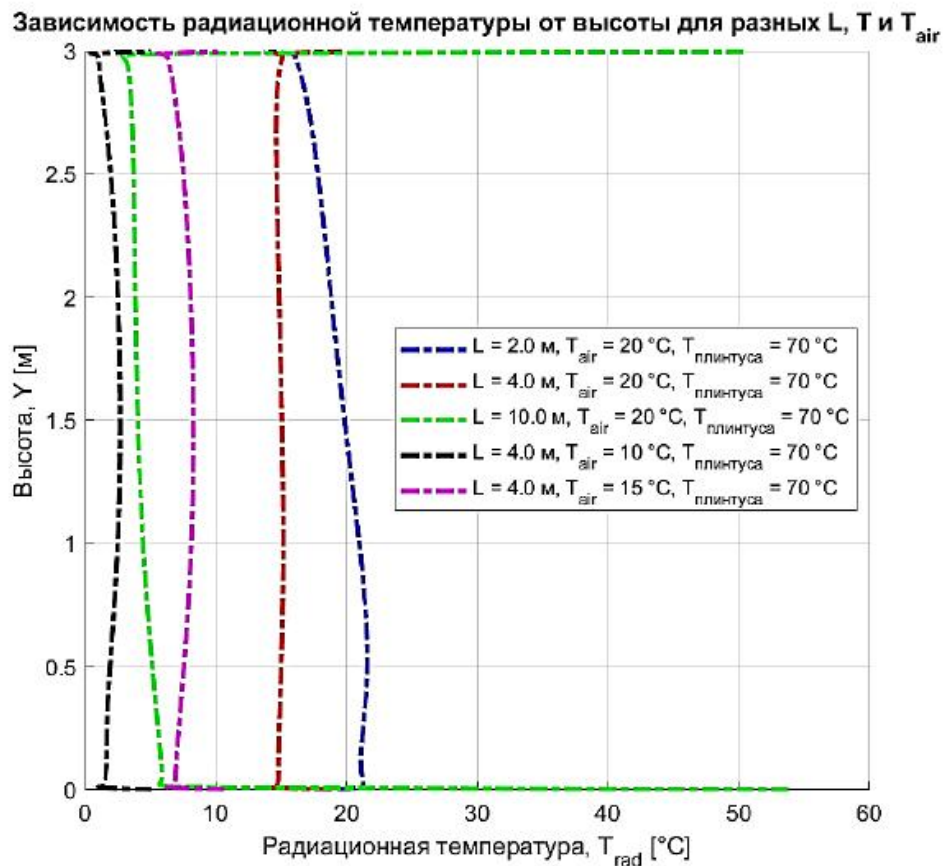


Рис. 3. Зависимость радиационных температур от высоты при различных параметрах помещения

Графики зависимости радиационной температуры от высоты также демонстрируют воздействие плинтусных систем лишь в некоторой небольшой удаленности от них, что делает их более эффективными в небольших и средне-размерных помещениях.

Закключение. Проведенная работа демонстрирует, что созданная модель корректно описывает физические основы процесса формирования радиационных температур и служит эффективным инструментом для параметрического анализа. Результаты расчета наглядно демонстрируют зависимость распределения температуры от основных факторов: геометрии помещения

и температурного режима работы системы отопления. Полученные данные имеют практическую ценность для инженеров-проектировщиков, позволяя оптимизировать систему отопления для достижения равномерного теплового комфорта при минимальных энергозатратах.

Список источников

- [1] Fanger O.P. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering: The Doctor of Science thesis*. Copenhagen, Danmarks Tekniske Højskole (DTU), 1970, 244 p.
- [2] Myhren J.A., Holmberg S. Comfort temperatures and operative temperatures in an office with different heating methods. *Proceedings of the Healthy Buildings Conference. Herndon, International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ)*, 2006, vol. 2, pp. 47–52.
- [3] ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Москва, Стандартинформ, 2013, 18 с.
- [4] Суханов К.О., Гримитлин А.М., Шкаровский А.Л. Микроклимат жилых помещений с плинтусной водяной системой отопления и подачей свежего воздуха через регулируемые оконные створки. *Вестник гражданских инженеров*, 2017, № 5, с. 111–115.
- [5] Ploskić A., Holmberg S. Heat emission from thermal skirting boards. *Journal of Building and Environment*, 2010, vol. 45, pp. 1123–1133.
- [6] ГОСТ Р ИСО 7730–2009. Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта. Москва, Стандартинформ, 2011, 43 с.
- [7] Гришин Ю.М., Скрипка А.О. Численное моделирование теплообмена в помещении с панельно-лучистым отоплением для оценки теплового комфорта. *Студенческая научная весна, посв. 85-летию со дня рождения академика И.Б. Фёдорова. Всерос. студенч. конф.: сб. докл.* Москва, ООО «Издательский дом «Научная библиотека», 2025, с. 739–740.
- [8] Зигель Р., Хауэлл Дж. *Теплообмен излучением*. Москва, Мир, 1975, 935 с.