

В. М. ШЕИН
В. Е. КРИВОШЕЕВ
А. А. НИКИТИН

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛОСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ НА ПЛОСКОСТЬ ПОЛА С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ УГЛОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

**CALCULATION METHOD OF THE RADIATION EFFICIENCY OF A FLAT RADIATOR
ON THE FLOOR PLANE TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF ANGLE COEFFICIENTS**

На сегодняшний день существующие методики определения угловых коэффициентов сложны для применения в инженерных расчетах. В статье предложен новый подход к определению угловых коэффициентов. Используя плоскопараллельную систему координат, основные правила и закономерности физики и геометрии, была разработана и описана в программном продукте MS Excel методика определения угловых коэффициентов излучения от излучателя на плоскости потолка на объект, находящийся на плоскости пола. Исследования показали, что предлагаемая методика расчета в значительной степени упрощает вычислительные операции, позволяет с большей точностью определить искомые параметры и спроектировать эффективную модель помещения с инфракрасными обогревателями.

Ключевые слова: радиационное отопление, угловые коэффициенты, тепловой поток, система координат, тепловой комфорт, инфракрасный излучатель

Проектирование системы лучистого теплообмена включает в себя множество факторов, влияющих как на эффективность устанавливаемого теплообменного оборудования, так и на комфорт человека, находящегося в данном помещении [1, 2]. Одним из наиболее важных параметров, определяющих, насколько проектируемая система будет работать эффективно, является угловой коэффициент излучения. В теории теплообмена выделяется несколько разновидностей угловых коэффициентов: элементарный, локальный, средний. Элементарный угловой коэффициент характеризует отношение теплового потока, излученного от одной элементарной площадки тела № 1 на элементарную площадку тела № 2 к тепловому потоку собственного излучения, который распространяется от тела № 1 по всем направлениям в пределах полусферы (180 град). Локальный угловой коэффициент характеризуется отношением теплового потока, излучаемого с одной элементарной площадки

To date, the existing methods for determining the angle coefficients are difficult to apply in engineering calculations. In this research paper, a new approach to the determination of angular coefficients has been proposed. Using the plane-parallel system of coordinates, basic rules and laws of physics and geometry, the procedure of determination of angular coefficients of radiation from the radiator on the ceiling plane, on the object located on the floor plane was developed and described in MS Excel program product. The research showed that the proposed calculation procedure considerably simplifies calculation operations, allows to determine required parameters with higher accuracy and design the effective model of a room with infrared heaters.

Keywords: radiant heating, angle coefficients, heat flux, coordinate system, thermal comfort, infrared radiator

тела № 1 на поверхность конечных размеров другого тела к тепловому потоку собственного излучения, который распространяется от тела № 1 по всем направлениям в пределах полусферы (180 град). Средний угловой коэффициент характеризует количество теплоты, излученное с поверхности № 1 на поверхность № 2 к тепловому потоку собственного излучения, который распространяется от тела № 1 по всем направлениям в пределах полусферы (180 град) [3, 4]. При исследовании радиационного теплообмена важно знать, каким образом происходит процесс излучения между телами. Отметим, что существующие сегодня методы определения угловых коэффициентов сложны для применения в инженерных расчетах. Разрабатываемая методика расчета позволит в значительной степени упростить процесс проектирования систем радиационного теплообмена.

Представим схему теплообмена между излучательной панелью, расположенной на

потолке, и поверхностью dx , расположенной на уровне пола помещения.

В связи с тем, что, согласно закону Ламберта, излучение распространяется одинаково во всех направлениях, целесообразно свести решение пространственной задачи к плоскопараллельной [5, 6]. Рассмотрим помещение как плоскость конечных размеров и введем плоскопараллельную систему координат (рис. 1). Здесь ось ординат будет соответствовать уровню потолка помещения, а ось абсцисс – уровню пола помещения.

Опишем представленную схему:

- положение точек на полу – координата « x »;
- положение точки на нагревателе – координата « y »;
- положение поверхности dx – неподвижно;
- расположение dx посередине под излучателем;
- отрезок $[0, 2b]$ – длина излучателя;
- отсчет расстояния « y » будет вестись от левого края излучателя ($y = 0$), в середине излучателя ($y = b$), в правом крае излучателя ($y = 2b$).

Используя свойство взаимности угловых коэффициентов ($dF_{dx-dy} = dF_{dy-dx}$), определим локальный угловой коэффициент с поверхности dx на dy в соответствии с рис. 2 [7]. Положение точек примем за расположение элементарных поверхностей dy (длин) на поверхности излучателя.

В полученном прямоугольном треугольнике угол α может принимать любые значения от 0 до $\pi/2$.

Рассмотрим левую часть расчетной схемы ($0 \leq y \leq b$). Элементарный угловой коэффициент

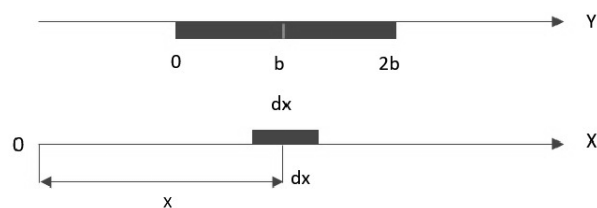


Рис. 1. Схема теплообмена в плоскопараллельной системе координат

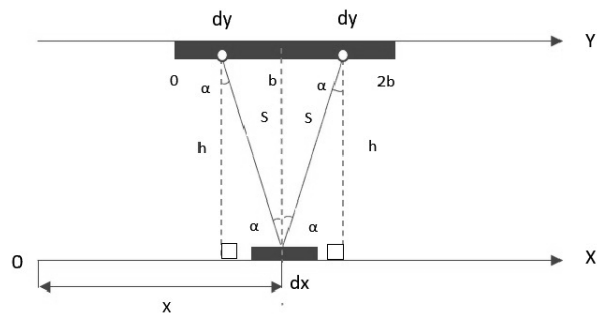


Рис. 2. Расположение поверхностей на излучателе и их геометрия

с площадки dx на dy определяется соотношением [8]:

$$dF_{dx-dy} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\cos \alpha \cdot \cos \alpha}{S} dy. \tag{1}$$

Используя элементарные преобразования и правила геометрии, имеем следующие зависимости:

$$\cos \alpha = \frac{h}{S}; \quad dF_{dx-dy} = \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2}{S^3} dy; \quad S^2 = h^2 + (x-y)^2;$$

$$S = \sqrt{h^2 + (x-y)^2}; \quad S^3 = \sqrt{h^2 + (x-y)^2}^3.$$

Подставим найденные зависимости в уравнение (1):

$$dF_{dx-dy} = \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2}{(h^2 + (x-y)^2)^{1.5}} dy. \tag{2}$$

Преобразуем знаменатель выражения и возьмем интеграл от (2) по левой части излучателя в пределах $[0, b]$. Так как значение $h = const$, то « h » можно внести под знак дифференциала [9]. После математических вычислений полученное выражение будет характеризовать локальный угловой коэффициент с половины излучателя на элементарную поверхность dx , положение точки, как отмечалось выше, фиксированное и имеет значение координаты « x » – ($x = const$). Используя правила вычисления интегралов и поскольку значение $h = const$, то « x » можно также вычесть либо прибавить под знаком дифференциала. Отсюда выражение (2) примет вид:

$$dF_{dx-лев} = -\frac{1}{2} \int_0^b \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{x-y}{h}\right)^2\right)^{1.5}} d\left(\frac{x-y}{h}\right). \tag{2a}$$

Полученное подынтегральное выражение имеет табличное значение согласно книге: Двайт Г.Б «Таблицы интегралов и другие математические формулы» [10]. Преобразовав полученное выражение после подстановки и интегрирования, получим зависимость, характеризующую локальный угловой коэффициент с левой половины излучателя:

$$dF_{dx-лев} = \frac{1}{2} \left(\frac{\frac{x}{h}}{\left(1 + \left(\frac{x}{h}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} - \frac{\frac{x-y}{h}}{\left(1 + \left(\frac{x-y}{h}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \right). \tag{3}$$

Чтобы удостовериться в том, что выражения для определения углового коэффициента в левой ($0 \leq y \leq b$) и правой части ($b \leq y \leq 2b$) одинаковы, проведем те же математические операции, которые применялись при рассмотрении левой части излучателя. Зависимость dF_{dx-dy} и $\cos \alpha$ остаются без изменений. Значение S , исходя из рис. 2, примет вид:

$$S = \sqrt{h^2 + (y-x)^2}; S^2 = h^2 + (y-x)^2; S^3 = \sqrt{h^2 + (y-x)^2}^3.$$

Подставляем известные и найденные параметры в уравнение (1), преобразуем и возьмем интеграл по правой части излучателя в диапазоне $[b, 2b]$. Воспользуемся также заложенным ранее условием $x = const$:

$$dF_{dx-права} = -\frac{1}{2} \int_b^{2b} \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{y-x}{h}\right)^2\right)^{1,5}} d\left(\frac{y-x}{h}\right).$$

Данное подынтегральное выражение имеет то же табличное значение, как и для случая расчета [10] в пределах $[b; 2b]$. Преобразовав полученное выражение после интегрирования, получим выражение для локального углового коэффициента с правой половины излучателя:

$$dF_{dx-права} = \frac{1}{2} \left[\frac{\frac{2b-x}{h}}{\left(1 + \left(\frac{2b-x}{h}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} - \frac{\frac{b-x}{h}}{\left(1 + \left(\frac{b-x}{h}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \right]. \quad (4)$$

Выражение dF_{dx-dy} – одинаковое для «левой» и «правой» части излучателя, поскольку в соотношении, описывающем угловой коэффициент, есть компонент $(x^2 + y^2)$, показатель которого позволяет сделать вывод о том, что совершенно не имеет значение, какой из параметров больше или меньше « x » или « y ».

Рассмотрим теперь случай, когда излучатель и элементарный участок находятся на удалении от излучателя на расстоянии S (рис. 3).

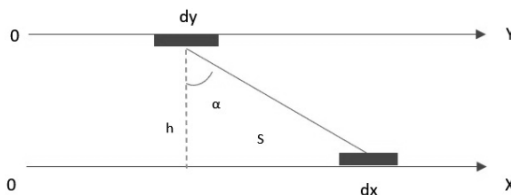


Рис. 3. Излучатель и элементарный участок на расстоянии

Используя основное уравнение (2), произведем расчет формулы для определения локального углового коэффициента для данной системы. Найденное после преобразования и интегрирования соотношение характеризует локальный угловой коэффициент для системы, в которой элементарный участок удален от излучателя на расстояние S :

$$dF_{dx-dy} = -\frac{1}{2} \left[\frac{\frac{x-y}{h}}{\left(1 + \left(\frac{x-y}{h}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{x-y}{h}}{\left(1 + \left(\frac{x-y}{h}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \right]. \quad (5)$$

Далее, зная зависимости, описывающие локальный угловой коэффициент с поверхности на левую и правую часть излучателя, а также если поверхности удалены друг от друга, найдем локальный угловой коэффициент с точки пола на весь нагреватель. Схема взаимного расположения представлена на рис. 4.

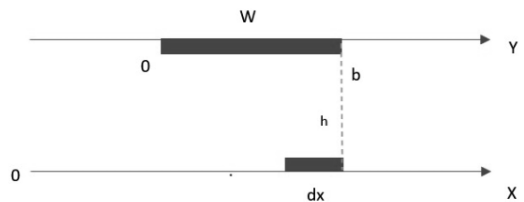


Рис. 4. Расчетная схема

Начало оси ординат поместим в начало нагревателя W . Локальный угловой коэффициент с точки пола на весь нагреватель dF_{dx-W} будет характеризовать выражение (2). Преобразуем и проинтегрируем (2), при этом совершим замену переменной, а именно $(h^2 + (x - y)^2)^{1/2}$. После преобразования имеем следующее соотношение:

$$dF_{dx-W} = \frac{1}{2} \int_0^b \frac{d(x-y)}{R^3}. \quad (6)$$

Решение этого интеграла имеет табличное значение согласно [10]. Результатом интегрирования становится выражение для локального углового коэффициента с точки пола на весь нагреватель:

$$dF_{dx-W} = \frac{1}{2h^2} \left[\frac{x}{\left(h^2 + x^2\right)^{\frac{1}{2}}} - \frac{x-b}{\left(h^2 + (x-b)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \right]. \quad (7)$$

Для упрощения расчета по представленным формулам в программном продукте MS Excel была написана программа для определения локального углового коэффициента.

На схеме (рис. 5) отмечены все параметры исходя из архитектурно-строительных харак-

теристик здания, взаимного расположения излучателей на потолке и распространения тепловых потоков. В соответствующие ячейки задаются значения параметров: высота помещения, длина излучателей, расстояние по поверхности пола.

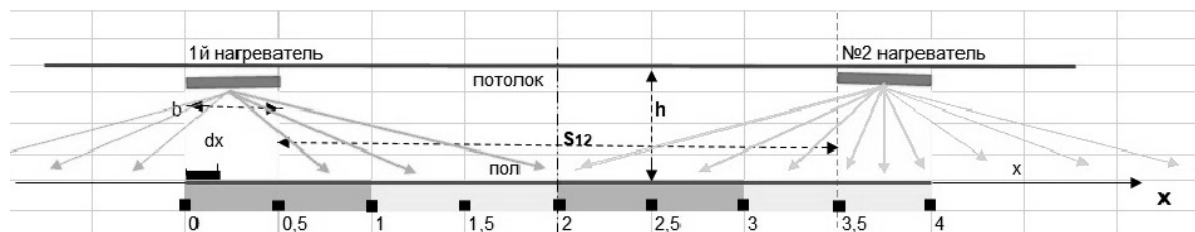


Рис. 5. Расчетная схема взаимного расположения поверхностей и параметры, описывающие распределение тепловых потоков

Таблица 1

Значения угловых коэффициентов от каждого излучателя и их сумма

x, м	0	0,25	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	6,75	7
dF _{Прав}	0,0157	0,0159	0,0157	0,0114	0,0066	0,0036	0,0021	0,0013	0,0008	0,0007	0,0007
dF _{Лев}	0,0007	0,0007	0,0008	0,0013	0,0021	0,0036	0,0066	0,0114	0,0157	0,0159	0,0157
dF _{Два}	0,016	0,017	0,017	0,013	0,009	0,007	0,009	0,013	0,017	0,017	0,016

Все значения вводятся в соответствующие ячейки (рис. 6), после чего автоматически будет произведено вычисление вспомогательных компонентов.

Основная формула для расчета углового коэффициента заложена в программе:

$$dF_{dx-w} = \frac{1}{2h^2} \left(\frac{x}{(h^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{x-b}{(h^2 + (x-b)^2)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

По итогам расчета формируется табл. 1 со значениями локальных угловых коэффициентов от каждого излучателя и суммы этих коэффициентов (рис. 7).

Известно, что угловые коэффициенты показывают долю теплоты, падающую на поверхность от излучателя [11]. Исходя из графика можно сделать вывод о том, что из всего количества теплоты, излученного нагревательной панелью в центр помещения, придет 0,007 доли от общей мощности излучателя. Максимальное значение доли теплового потока составляет 0,0159 доли от мощности излучателя.

Изменим параметр расстояния между нагревателями (S) и длину нагревателя (b): b = 1,5 м, S = 4 м.

h, м = 2,5	можно изменять	высота от пола до потолка
b, м = 0,5		длина нагревателя на потолке
x, м	ось	расстояний по полу
S12 м = 6		расстояние между внутренними краями нагревателей
h/S12 = 0,42	можно изменять	относительное расстояние нагревателей
h ² = 6,25		квадрат высоты
1/(2h ²) = 0,080		1/два квадрата высоты

Рис. 6. Исходные и вспомогательные параметры № 1

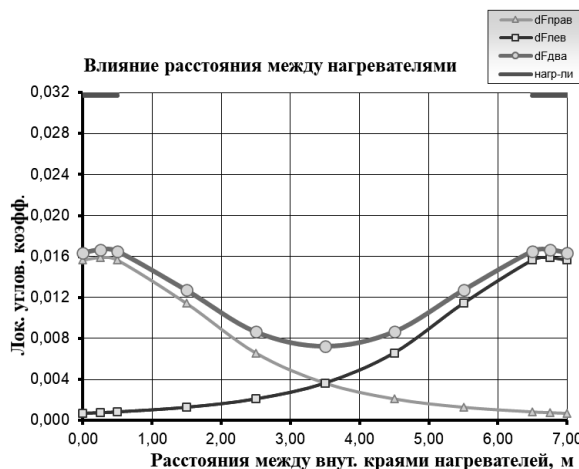


Рис. 7. Влияние расстояния между нагревателями на тепловой поток от излучателей

По итогам расчета формируется табл. 2 со значениями угловых коэффициентов от каждого излучателя и суммы этих коэффициентов для новых исходных данных (рис. 8).

Исходя из графика (рис. 8) можно сделать вывод о том, что, уменьшив расстояние между излучателями до 4 м и увеличив длину потолочной радиационной панели до 1,5 м, из всего количества теплоты, излученного нагревателем в центр помещения, придет 0,03 доли от общей мощности излучателя (увеличение теплового потока в 4,28 раза в сравнении с табл. 1). Максимальное значение доли теплового потока составляет 0,05 доли от мощности излучателя (увеличение теплового потока в 3,14 раза в сравнении с табл. 1). Характер кривой графика при новых взятых размерах показывает, что на точку пола между нагревателями теперь падает большее количество теплоты, чем при прежних размерах.

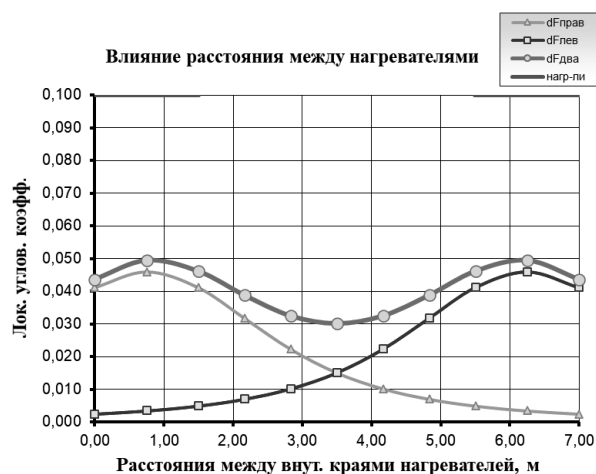


Рис. 8. Влияние расстояния между нагревателями на тепловой поток от излучателей при исходных данных № 2

Таблица 2

Значения угловых коэффициентов от каждого излучателя и их сумма

х, м	0	0,75	1,5	2,17	2,83	3,50	4,17	4,83	5,5	6,25	7
dFправ	0,0412	0,0460	0,0412	0,0318	0,0223	0,0151	0,0102	0,0071	0,0050	0,0035	0,0025
dFлев	0,0025	0,0035	0,0050	0,0071	0,0102	0,0151	0,0223	0,0318	0,0412	0,0460	0,0412
dFдва	0,044	0,049	0,046	0,039	0,033	0,030	0,033	0,039	0,046	0,049	0,044

Заключение. Угловые коэффициенты излучения – это параметры, которые характеризуют направленность излучения электромагнитных волн. Их значимость заключается в том, что они позволяют определить, в каком направлении наиболее эффективно излучается тепловая энергия (определить долю тепла, падающего на поверхность от излучателя), что очень важно для создания комфортного микроклимата в помещении [12]. Предложенный в данной методике расчёта подход к определению угловых коэффициентов позволит определить точное направление, в котором излучатель будет распределять энергию, что позволяет более качественно спроектировать систему инфракрасного отопления помещения и рассчитать необходимое количество излучателей для обогрева объекта.

Кроме того, угловые коэффициенты излучения могут быть использованы для управления тепловым потоком и минимизации потерь теплоты. Например, если угол излучения слишком широкий, то тепло может распространяться в нежелательном направлении, что неэффективно. Если же угол излучения слишком узкий, то тепло будет очень сконцентрировано, что может привести к перегреву объекта.

Таким образом, угловые коэффициенты излучения играют важную роль в эффективном и управляемом обогреве объектов с использованием инфракрасных излучателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулин А.Б., Санкина Ю.Н., Рябова Т.В. Обоснование параметра результирующей комфортной температуры // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 28–33. DOI 10.17586/1606-4313-2021-20-1-28-33. EDN AQIQIY.
2. Aviv D., Hou M., Teitelbaum E., Meggers F. Simulating invisible light: a model for exploring radiant cooling's impact on the human body using ray tracing. SIMULATION. 2022. 0(0). DOI:10.1177/00375497221115735.
3. Шацков А.О. Определение температуры адiabатных поверхностей в помещениях с лучистым отоплением // Теплоэнергетика. 2021. № 9. С. 64–70. DOI 10.1134/S0040363621090083. EDN VXLADA.
4. Басов А.А. Комбинированный алгоритм определения углового коэффициента излучения между многоугольниками контурным интегрированием // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2022. № 1. С. 66–80. DOI 10.31857/S0002331022010034. EDN ASXQII.

5. Шейн В.М. Особенности применения низкотемпературных инфракрасных излучателей в системах отопления зданий // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: мат-лы Пятдесят первой (LI) науч. и учеб.-методич. конференции Университета ИТМО, Санкт-Петербург, 02–05 февраля 2022 года. Санкт-Петербург: Национальный исследовательский университет ИТМО, 2022. Т. 1, С. 280–284. EDN UASBZX.

6. Винокуров Д.К. Классификация методов расчёта диффузных угловых коэффициентов излучения // Математическое моделирование. 2019. Т. 31, № 12. С. 57–70. DOI 10.1134/S0234087919120050. EDN FDFKGP.

7. Hongli S., Mengfan D., Yifan W., Borong L., Zixu Y., Haitian Z. Thermal performance investigation of a novel heating terminal integrated with flat heat pipe and heat transfer enhancement // Energy. 2021. 236. 121411. DOI: 10.1016/j.energy.2021.121411.

8. Карагузов В.И. Тепловая производительность радиационного нагревателя в летний период // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2019. Т. 3, № 3. С. 26–32. DOI 10.25206/2588-0373-2019-3-3-26-32. EDN GVCYMH.

9. Редько А.А., Куликова Н.В., Бурда Ю.А. Численный анализ параметров лучшей системы отопления с излучающими // Проблемы региональной энергетики. 2020. № 1(45). С. 59–70. DOI 10.5281/zenodo.3713405. EDN QNZCAC.

10. Двайт Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. М.: Наука, 1977. 60 с.

11. Minzhi Y., Serageldin A.A., Radwan A.M., Hideki S., Katsunori N. Thermal performance of ceiling radiant cooling panel with a segmented and concave surface // Laboratory analysis. Applied Thermal Engineering. 2021. 196. 117280. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117280.

12. Цой А.П., Бараненко А.В., Грановский А.С., Цой Д.А. Моделирование работы установки с радиационным охлаждением для кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2019. № 3. С. 3–4. DOI: 10.17586/1606-4313-2019- 18-3-3.

REFERENCES

1. Sulin AB, Sankina JN, Ryabova TV. Justification of the resulting comfortable temperature parameter. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda* [Bulletin of the International Academy of Cold], 2021, no. 1, pp. 28–33. (in Russian) DOI 10.17586/1606-4313-2021-20-1-28-33. EDN AQIQIY.

2. Aviv D, Hou M, Teitelbaum E, Meggers F. Simulating invisible light: a model for exploring radiant cooling's impact on the human body using ray tracing. *SIMULATION*. 2022. 0(0). DOI:10.1177/00375497221115735

3. Shatskov A.O. Determination of adiabate surfaces temperature in rooms with radiant heating. *Teplojenergetika* [Power system], 2021, no. 9, pp. 64–70. (in Russian) DOI 10.1134/S0040363621090083. EDN VXLADA.

4. Basov A.A. Combined algorithm for determining the angular coefficient of radiation between polygons by contour integration. *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Jenergetika* [Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Power], 2022, no. 1, pp. 66–80. (in Russian) DOI 10.31857/S0002331022010034. EDN ASXQII.

5. Shein V.M. Features of the use of low-temperature infrared emitters in building heating systems. *Al'manah nauchnyh rabot molodyh uchenyh Universiteta ITMO: materialy Pjat'desjat pervoj (LI) nauchnoj i uchebno-metodicheskoj konferencii Universiteta ITMO, Sankt-Peterburg, 02–05 fevralja 2022 goda* [Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University: materials of the Fifty-first (LI) scientific and educational-methodological conference of ITMO University, St. Petersburg, February 02-05, 2022]. St. Petersburg, 2022, V. 1, pp. 280–284. (In Russian). EDN UASBZX.

6. Vinokurov D.K. Classification of methods for calculating diffuse angular coefficients of radiation. *Matematicheskoe modelirovanie* [Mathematical modeling], 2019, vol. 31, no. 12, pp. 57–70. (in Russian) DOI 10.1134/S0234087919120050. EDN FDFKGP.

7. Hongli S., Mengfan D., Yifan W., Borong L., Zixu Y., Haitian Z. Thermal performance investigation of a novel heating terminal integrated with flat heat pipe and heat transfer enhancement. *Energy*. 2021. 236. 121411. DOI: 10.1016/j.energy.2021.121411

8. Karagusov V.I. Heat capacity of radiation heater in summer. *Omskij nauchnyj vestnik. Serija Aviacionno-raketnoe i jenergeticheskoe mashinostroenie* [Omsk Scientific Bulletin. Series Aircraft Missile and Power Engineering], 2019, vol. 3, no. 3, pp. 26–32. (in Russian) DOI 10.25206/2588-0373-2019-3-3-26-32. EDN GVCYMH.

9. Redko A.A., Kulikova N.V., Burda Yu.A. Numerical analysis of parameters of radiant heating system with radiating. *Problemy regional'noj jenergetiki* [Regional Energy Challenges], 2020, no. 1(45), pp. 59–70. (in Russian) DOI 10.5281/zenodo.3713405. EDN QNZCAC.

10. Dwight G.B. *Tablicy integralov i drugie matematicheskie formuly* [Integrals Tables and Other Mathematical Formulas]. Moscow, Nauka, 1977. 60 p.

11. Minzhi Y., Serageldin A.A., Radwan A.M., Hideki S., Katsunori N. Thermal performance of ceiling radiant cooling panel with a segmented and concave surface. Laboratory analysis. *Applied Thermal Engineering*. 2021. 196. 117280. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117280

12. Tsoi A.P., Baranenko A.V., Granovsky A.S., Tsoi D.A. Simulating the operation of a radiation cooling plant for air conditioning. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda* [Bulletin of the International Academy of Cold], 2019, no. 3, pp. 3–4. (in Russian) DOI: 10.17586/1606-4313-2019- 18-3-3

Об авторах:

ШЕИН Владислав Максимович

аспирант образовательного центра
энергоэффективных инженерных систем
Университет ИТМО
197101, Россия, г. Санкт-Петербург,
Кронверкский пр., 49, лит. А
E-mail: shein512.54@gmail.com
ORCID:0000-0002-0777-651X

SHEIN Vladislav M.

Postgraduate student of the Education Center
for Energy Efficient Engineering Systems
ITMO University
197101, Russia, St. Petersburg, Kronverksky pr., 49, lit. A
E-mail: shein512.54@gmail.com
ORCID:0000-0002-0777-651X

КРИВОШЕЕВ Владимир Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент кафедры
промышленной теплоэнергетики
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: krvidm@yandex.com
ORCID: 0000-0003-2365-1861

KRIVOSHEEV Vladimir Ev.

PhD in of Engineering Sciences, Associate Professor
of Industrial Heat and Power Engineering Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: krvidm@yandex.com
ORCID: 0000-0003-2365-1861

НИКИТИН Андрей Алексеевич

кандидат технических наук, доцент образовательного
центра энергоэффективных инженерных систем
Университет ИТМО
197101, Россия, г. Санкт-Петербург,
Кронверкский пр., 49, лит. А
E-mail: andyquest@mail.ru
ORCID:0000-0002-0084-7282

NIKITIN Andrey Al.

PhD in of Engineering Sciences, Associate Professor
of the Energy Efficient Engineering Systems
ITMO University
197101, Russia, St. Petersburg, Kronverksky pr., 49, lit. A
E-mail: andyquest@mail.ru
ORCID:0000-0002-0084-7282

Для цитирования: Шейн В.М., Кривошеев В.Е., Никитин А.А. Методика расчёта эффективности излучения плоского излучателя на плоскость пола с учётом влияния угловых коэффициентов // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 4. С. 57–63. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.07.

For citation: Shein V.M., Krivosheev V.E., Nikitin A.A. Calculation method of the radiation efficiency of a flat radiator on the floor plane taking into account the influence of angle coefficients. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 4, pp. 57–63. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.07.