

УДК 536.46

Исследование величины угловых коэффициентов и определение оптимальных значений расположения излучателя в системе излучатель–стена

Канд. техн. наук В. Е. КРИВОШЕЕВ¹, В. М. ШЕИН², канд. техн. наук А. А. НИКИТИН³

¹Самарский государственный технический университет

^{2,3}Университет ИТМО

¹krvdm@yandex.com, ²shein512.54@gmail.com, ³andyquest@mail.ru

Вопросы проектирования систем инфракрасного отопления, набирают все большую актуальность. Значение углового коэффициента излучения является одной из главных расчетных величин в процессах отопления излучением, для вычисления которого применяются, как аналитические и графоаналитические методы расчета (метод поточной алгебры), так и экспериментальные методики, к которым можно отнести метод аналогий и метод светового моделирования. Проводимая работа направлена на исследование величины угловых коэффициентов в системе излучатель — стена в бесконечной плоскопараллельной системе координат и создание новой методики расчета. На основе полученных закономерностей и особенностей распространения лучистых потоков была разработана программа в MS Excel для определения: значений угловых коэффициентов в системе излучатель–стена, оптимального расстояния от стены до излучателя, а так же профили распределения облученности стены в зависимости от высоты помещений и расстояния от стены до крайней левой точки излучательной панели. Полученные в результате расчета в программе параметры, позволят с значительной степенью повысить эффективность системы радиационного отопления зданий и сооружений.

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

Информация о статье:

Поступила в редакцию 07.06.2023, одобрена после рецензирования 07.07.2023, принята к печати 17.07.2023

DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-3-13-19

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Кривошеев В. Е., Шеин В. М., Никитин А. А. Исследование величины угловых коэффициентов и определение оптимальных значений расположения излучателя в системе излучатель — стена // Вестник Международной академии холода. 2023. № 3. С. 13-19. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-3-13-19

Angle coefficients and optimum values of radiator location in the radiator–wall system

Ph. D. V. E. KRIVOSHEEV¹, V. M. SHEIN², Ph. D. A. A. NIKITIN³

¹Samara State Technical University

^{2,3}ITMO University

¹krvdm@yandex.com, ²shein512.54@gmail.com, ³andyquest@mail.ru

Currently, the issues of designing infrared heating systems are gaining increasing relevance. The value of the angular coefficient of radiation is one of the main design values in the processes of heating by radiation. To calculate the value of the required parameter, both analytical and graphoanalytical methods of calculation (flow algebra method) as well as experimental methods, to which the analogy method and light simulation method can be referred to, are used. However, the listed methods for determining angular radiation coefficients in infrared heating systems are difficult in their application to engineering calculations. This research work is aimed at investigating the values of the angular coefficients in the radiator-wall system in an infinite plane-parallel coordinate system and creating a new method of calculation. Based on the obtained patterns and characteristics of the radiant fluxes distribution, a program was developed in MS Excel to determine: the values of the angular coefficients in the system radiator-wall, the optimum distance from the wall to the radiation, as well as the distribution profiles of the irradiance of the wall depending on the height of the rooms and the distance from the wall to the leftmost point of the radiating panel. The parameters obtained as a result of calculation in the program allow significant improving the efficiency of the radiation heating systems for buildings and constructions.

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

Article info:

Received 07/06/2023, approved after reviewing 07/07/2023, accepted 17/07/2023

DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-3-13-19

Article in Russian

For citation:

Krivosheev V. E., Shein V. M., Nikitin A. A. Angle coefficients and optimum values of radiator location in the radiator — wall system. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2023. No 3. p. 13-19. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-3-13-19

Введение

Разработка систем инфракрасного отопления — это многостадийный процесс, от правильности выполнения которого зависит энергетическая эффективность здания в целом. Обеспечение оптимальных параметров микроклимата в рабочих зонах производств основная задача инженера еще на стадии проектирования системы жизнеобеспечения [1]. При проектировании помещений, в которых в качестве отопительного прибора будут использоваться инфракрасные излучатели, невозможно без понимания самой природы излучения, значения особенностей распространения лучей и многого другого. От того в какой части помещения будет расположен отопительный прибор напрямую зависит ощущение комфорта человека [2]. Одним из важных параметров при разработке подобных систем является угловой коэффициент излучения. Угловые коэффициенты могут быть нескольких видов: элементарные, локальные, средние [4]–[6]. Элементарный угловой коэффициент устанавливает взаимосвязь теплового потока между двумя элементарными поверхностями. Локальный угловой коэффициент устанавливает взаимосвязь теплового потока между элементарной площадкой и поверхностью конечных размеров. Средний угловой коэффициент устанавливает взаимосвязь теплового потока между поверхностями конечных размеров. [7]–[9]

Применяемые на сегодняшний день методы определения угловых коэффициентов излучения сложны в применении для инженерных расчетов [10, 11]. Предлагаемая в рамках данного научного исследования программа для определения угловых коэффициентов и оптимальных расстояний от стены до излучателя позволит в значительной степени упростить один из этапов проектирования систем инфракрасного отопления — выбор места расположения теплообменных аппарата в помещении.

Постановка задачи и ее решение

Представим схему теплообмена между излучательной панелью, расположенной на потолке и поверхностью dx , размещенной на перпендикулярной стене. В соответствии с законом Ламберта излучение поток излучения одинаков по всем направлениям в пределах полусферы (180°) [12]. Следовательно, рассмотрение пространственной задачи можно заменить плоской задачей. Поэтому можно представить помещение в плоскопараллельной системе координат. В которой ось ординат будет соответствовать плоскости потолка, а ось абсцисс будет плоскости стены (рис. 1).

Согласно теории, выражение для вычисления элементарного углового коэффициента имеет вид (1):

$$dF_{dx-dy} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\cos \alpha \cdot \cos \beta}{S} dy. \quad (1)$$

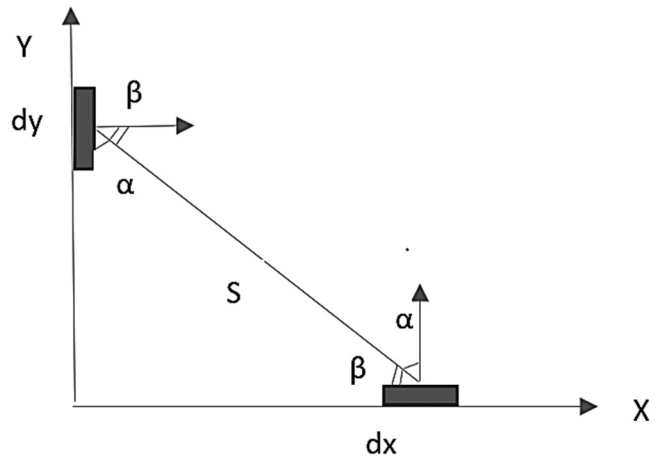


Рис. 1. Две перпендикулярные стены
Fig. 1. Two orthogonal walls

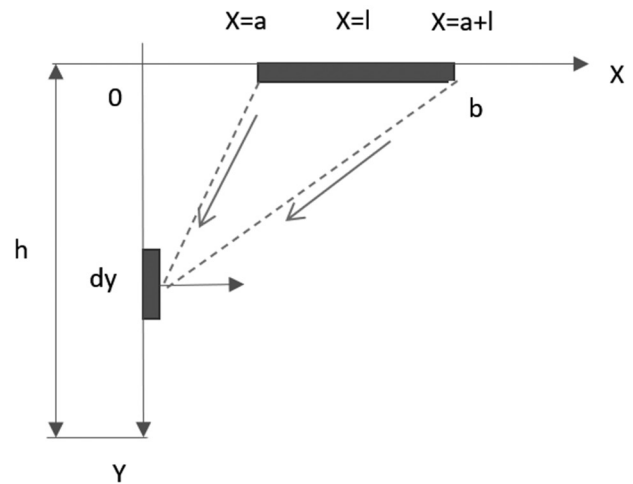


Рис. 2. Расчетная схема (потолок — стена):

l — длина излучателя $[a, b]$, h — расстояние от потолка до пола

Fig. 2. Calculation scheme (ceiling — wall):

l — radiator length; $[a, b]$, h — distance from ceiling to wall

Используя соотношение (1), вычислим элементарный угловой коэффициент с площадки dx на площадку dy в координатах двух перпендикулярных стен (рис. 1).

Исходя из расположения поверхностей друг относительно друга в плоской системе координат будем иметь следующие зависимости:

$$\cos \alpha = \frac{y}{S}; \quad \cos \beta = \frac{x}{S}; \quad \cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{y \cdot x}{S^2};$$

$$S^2 = x^2 + y^2; \quad S = (x^2 + y^2)^{1/2}.$$

Переход в плоскую систему координат обусловлен применением закона Ламберта, в соответствии с которым интенсивность излучения от поверхности одинаково распространяется во всех направлениях. Подставляя выраженные компоненты в уравнение (1), имеем:

$$dF_{dx-dy} = \frac{1}{2} \cdot \frac{x \cdot y}{(x^2 + y^2)^{3/2}} dy. \quad (2)$$

Полученное выражение (2) характеризует угловой коэффициент с площадки dx на площадку dy которые лежат на двух перпендикулярных поверхностях. Для определения оптимального значения расстояния от стены до излучательной панели на потолке рассмотрим следующую задачу и найдем локальный угловой коэффициент с излучателя на плоскости потолка на элементарную площадку dy на стене. Схема теплообмена примет вид, показанный на рис. 2.

Используя выражение (2) и, произведя соответствующие преобразования подынтегрального выражения, получим:

$$dF_{dy-l} = \frac{1}{2} \cdot \int_a^{a+l} \frac{x \cdot y}{(x^2 + y^2)^{3/2}} dx = \int_a^{a+l} \frac{y}{(x^2 + y^2)^{3/2}} d\left(\frac{x^2}{4}\right) = \int_a^{a+l} \frac{y}{y^3 \left(\left(\frac{x}{y}\right)^2 + 1\right)^{3/2}} dx^2 = \frac{1}{4} \int_a^{a+l} \frac{1}{\left(\left(\frac{x}{y}\right)^2 + 1\right)^{3/2}} d\left(\frac{x^2}{y} + 1\right).$$

Данное преобразование допустимо, поскольку координата Y не зависит от координаты X , следовательно можно сделать вывод о том, что Y — независимая, постоянная величина, причем $0 \leq Y \leq h$, поэтому согласно правилам математики допускается внести независимую постоянную под знак дифференциала [14]. После преобразования интеграл от выражения (2) примет вид:

$$dF_{dy-l} = \frac{1}{4} \int_a^{a+l} \frac{1}{\left(\left(\frac{x}{y}\right)^2 + 1\right)^{3/2}} d\left(\frac{x^2}{y} + 1\right). \quad (3)$$

Произведем замену переменной, для упрощения вычисления интеграла. Пусть $\xi = x^2/y + 1$, тогда имеем интеграл вида:

$$dF_{dy-l} = \frac{1}{4} \int_a^{a+l} \frac{1}{\xi^2} d\xi = \frac{1}{4} \frac{2}{\left(\frac{3}{2} - 1\right) \xi^{3/2}} \Big|_a^{a+l} = \frac{1}{2\sqrt{\xi}} \Big|_{\left(\left(\frac{x}{y}\right)^2 + 1\right)}^{\left(\left(\frac{x+l}{y}\right)^2 + 1\right)}.$$

Полученное после математических преобразований интеграл так же, как и в предыдущих примерах имеет табличное значение (Двайт Г. Б. Таблицы интегралов и др. математическое формулы), поэтому решение интеграла примет вид [15]:

$$dF_{dy-l} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{y}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{a+l}{y}\right)^2}} \right) = \frac{1}{2y} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + a^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + (a+l)^2}} \right). \quad (4)$$

Полученное выражение (4) характеризует локальный угловой коэффициент с элементарной площадки dy на стене на излучатель на потолке. Исходя из проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

- чем точка, a ближе к b , тем значение dF_{dy-l} меньше;
- чем меньше h , тем значение dF_{dy-l} меньше;
- $y=h \rightarrow (h-y)=0$, тогда dF_{dy-l} , т. е. значение теплового потока от излучателя на точку равно 0.

Для проведения анализа решения необходимо найти параметр dF_{l-dy} , который характеризует долю теплоты излучателя, упавшую на площадку dy .

Воспользуемся свойством взаимности угловых коэффициентов (5).

$$A_l dF_{l-dy} = dx \cdot dF_{dy-l}. \quad (5)$$

Выразим искомую величину:

$$dF_{l-dy} = \frac{dy \cdot dF_{dy-l}}{A_l},$$

где A_l — площадь излучателя.

$$dF_{l-dy} = \frac{1}{2} \frac{y dy}{l} \left(\frac{1}{\sqrt{1+a^2}} - \frac{1}{\sqrt{1+(a+l)^2}} \right), \quad (6)$$

здесь $\frac{dy}{l}$ имеет малое значение, поэтому им можно пренебречь. Отсюда следует:

$$dF_{l-dy} = \frac{y}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1+a^2}} - \frac{1}{\sqrt{1+(a+l)^2}} \right). \quad (6.1)$$

Т. к. точка a изначально принимала значение $x=a$, то a характеризует расстояние от стены до излучателя — x .

Из этого следует, что:

- если $a=0$, то $dF_{l-dy} \geq 0$;
- если $l=0$, то $dF_{l-dy}=0$;
- чем больше значение l , тем больше dF_{l-dy} .

Рассмотрим значение среднего углового коэффициента от излучателя на всю поверхность стены (рис. 3).

Воспользуемся соотношением (6):

$$dF_{l-dy} = \frac{y dy}{2l} \left(\frac{1}{\sqrt{1+a^2}} - \frac{1}{\sqrt{1+(a+l)^2}} \right). \quad (7)$$

Для нахождения искомой величины возьмем интеграл от (7) в пределах от 0 до h .

$$dF_{l-стена} = \int_{y=0}^{y=h} dF_{l-dy} = \int_{y=0}^{y=h} \frac{y}{2l} \left(\frac{1}{\sqrt{1+a^2}} - \frac{1}{\sqrt{1+(a+l)^2}} \right) dy \rightarrow$$

$$dF_{l-стена} = \frac{h}{2l} \left(\frac{1}{\sqrt{1+a^2}} - \frac{1}{\sqrt{1+(a+l)^2}} \right). \quad (8)$$

Полученное после интегрирования выражение (8) показывает какая доля теплоты от излучателя падает на всю стену высотой h .

Численное исследование

Для проведения расчетов по представленным зависимостям была написана программа в MS Excel для определения значений локального углового коэффициента от плоскости излучателя на точку (поверхность, размещенную на перпендикулярной стене).

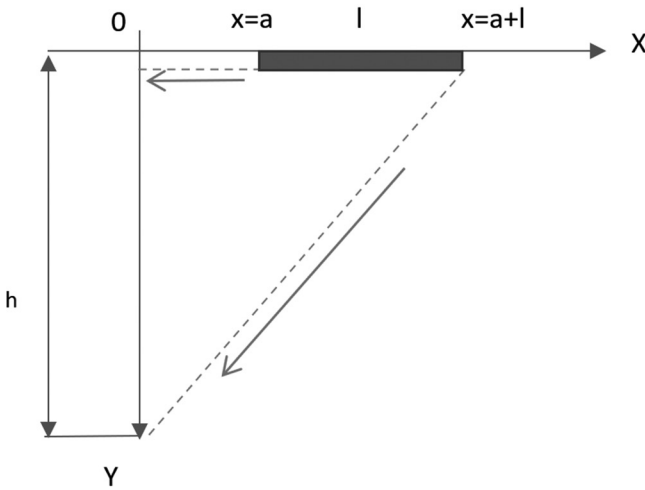


Рис. 3. Расчетная схема (излучатель — вся стена)
Fig. 3. Calculation scheme (emitter is the whole wall)

Расчетная схема имеет вид, представленный на рис. 4.

Для проведения расчета достаточно в соответствующие ячейки ввести значения: высоты, координаты начала и конца излучательной панели (рис. 5).

Далее система, исходя из введенных данных, согласно уравнению (6.1), автоматически произведет расчет значения углового коэффициента и построит график, показывающий величину облученности всех точек стены по высоте h .

Таблица 1

Итоговые значения локального углового коэффициента от излучателя на стену при $h=3$

Table 1

Total values of the local angle coefficient from the radiator to the wall at $h=3$

$y=h$	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3
dF	0,08	0,09	0,11	0,14	0,18	0,23	0,31	0,41	0,51	0,45	0,00

График облученности построенный по результатам расчет представлен на рис. 6.

Для нахождения оптимального расстояния от излучателя до стенки найдем значение величины удаления — « a » от стены при котором значение облученности стены будет снижаться. Воспользовавшись той же программой, будем менять с каждым разом расстояние, поступательно его увеличивая. Рассмотрим облученность стены при значениях $a=0,15; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4$ (рис. 7).

Начало координат поместив в точке пересечения стены с потолком. По оси абсцисс отложены значения облученности в долях от всей теплоты, излученной точкой на потолке. По оси ординат отложены расстояния от потолка в сторону пола, которые занимают точки на плоскости стены в метрах.

При перемещении точки — излучателя от угла потолка в сторону от стены, в глубину помещения величина облученности растет, быстро достигает наибольшего значения, затем убывает. При этом несколько увеличивается освещенность лучами средней и нижней части стены. Такие особенности изменения величины угло-

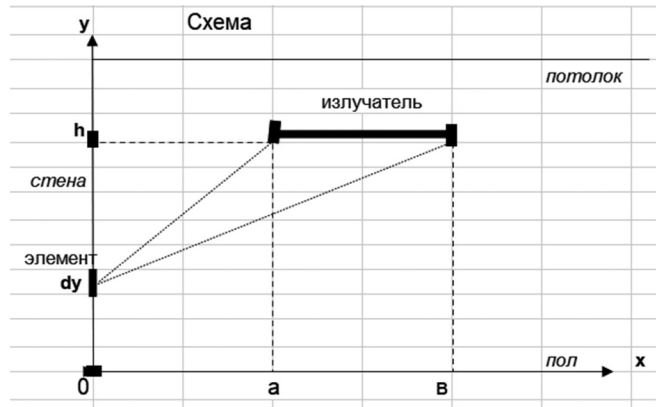


Рис. 4. Расчетная схема теплообмена (потолок — стена)
Fig. 4. Calculation scheme of heat exchange (ceiling — wall)

$h =$	3	высота ИЗЛУЧАТЕЛЯ над полом, м
$a =$	0,5	НАЧАЛО ИЗЛУЧАТЕЛЯ, м
$b =$	1	КОНЕЦ ИЗЛУЧАТЕЛЯ, м

Рис. 5. Введение исходных данных для расчета

Fig. 5. Introduction of the initial data for the calculation



Рис. 6. Величина облученности всех точек стены по высоте h
Fig. 6. Value of irradiance for all points of the wall along the height h

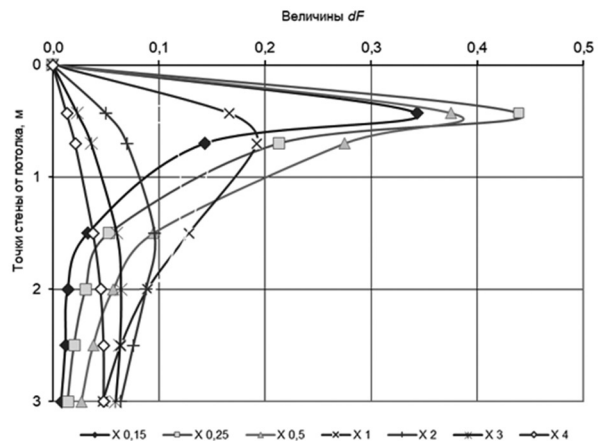


Рис. 7. Облученность точек стены от точек потолка (высота потолка $h=3$ м)
Fig. 7. Irradiance of wall points from ceiling points (ceiling height $h=3$ m)



Рис. 8. Наибольшее значение величины углового коэффициента в разных точках стены (h=3 м)
 Fig. 8. The largest value of the angle coefficient at different points of the wall (h=3m)



Рис. 9. Величина углового коэффициента на стене на уровне пола, точка X на потолке меняет свое положение, ось абсцисс
 Fig. 9. The value of the angle coefficient on the wall at the floor level, point X on the ceiling changes its position, the abscissa axis

го коэффициента и облученности связаны с растущим значением расстояния S между точками dx и dy. В формуле (1) значение S стоит в знаменателе.

Проанализировав поле облученности точек на стене, обратим внимание на существенные особенности лучистого освещения стены. Для рассмотрения этих особенностей, представим их графически (рис. 8, 9).

На рис. 8 представлены величины углового коэффициента с точки x на потолке на различные точки стены, в которых величина углового коэффициента наибольшая. Наибольшее значение коэффициента, ось ординат, достигается в разных точках стены при положении точки x в местах потолка, указанных на оси абсцисс. Чем положение точки x дальше от угла со стеной, величина коэффициента растёт, максимум линии при x=0,25 м, затем

начинает быстро падать. Отметим, что все точки линии графика соответствуют максимальной величине коэффициента, см. профили распределения, представленные на рис. 7.

Покажем значение коэффициента в точке стены на уровне пола (рис. 9).

Угловой коэффициент в нижней части стены повышается, т. к. точка X видит нижнюю точку стены под большим углом, X=2. Дальше величина коэффициента снижается. На рисунке показано исследование только до точки X=4.

Рассмотрим так же частные случаи расположения излучателя на потолке и приведем соответствующие зависимости:

1. Излучатель в углу со стеной (a = 0), тогда соотношение примет вид:

$$dF_{изл-dy} = 2y \left(\frac{1}{y} - \frac{1}{\sqrt{(b^2 + y^2)}} \right). \tag{9}$$

2. Точка (dy) находится в углу с полом, (y=h) тогда соотношение примет вид:

$$dF_{изл-dy} = 2h \left(\frac{1}{\sqrt{(a^2 + h^2)}} - \frac{1}{\sqrt{(b^2 + h^2)}} \right). \tag{10}$$

3. Точка (dy) находится в углу с потолком, y=0:

$$dF_{изл-dy} = 0.$$

4. Излучатель находится в углу, а точка (dy) на полу, тогда соотношение примет вид:

$$dF_{изл-dy} = 2 \left(1 - \frac{h}{\sqrt{(b^2 + h^2)}} \right). \tag{11}$$

Заключение

Выполненные исследования и полученные зависимости дают возможность оценки величины падающего теплового потока на боковую стену здания при расположении на потолке нагревателя вблизи с поверхностью этой стены, а также выбрать оптимальное значение расстояния от стены, на котором будет расположен инфракрасный излучатель, в зависимости от значения облученности. Полученные результаты будут применены в дальнейшем при создании высокоэффективной системы инфракрасного отопления и лягут в основу практической части диссертационного исследования в разделе «внутренний теплообмен в помещении».

Литература

1. Бодров В. И., Бодров М. В., Смыков А. А. Исследование Систем лучистого отопления на базе низкотемпературных инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал. 2019. № 3 (51). С. 52–57.
2. Санкина Ю. Н., Сулин А. Б., Рябова Т. В., Дейми-Даштебаяз М., Лысев В. И. Обоснование параметра результирующей комфортной температуры // Вестник Международной ака-

References

1. Bodrov V. I., Bodrov M. V., Smykov A. A. Research of Radiant Heating Systems based on low-temperature infrared emitters. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2019. No 3 (51). p. 52–57. (in Russian)
2. Sankina Yu. N., Sulin A. B., Ryabova T. V., Deymi-Dashtebayaz M., Lysev V. I. Justification of the resulting comfortable temperature parameter. *Journal of International Academy of*

- демии холода. 2021. № 1. С. 28–33. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-28-33
3. 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
 4. Ляшенко П. С. Исследование углового коэффициента излучения при расчете процесса лучистого теплообмена в топках камерного типа / П. С. Ляшенко, Ю. А. Боев, Д. Л. Безбородов // *Металлургия XXI столетия глазами молодых: Сборник докладов V международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Донецк, 22 мая 2019 г. / Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2019. С. 284–286.*
 5. Винокуров Д. К. Особенности корректировки угловых коэффициентов лучистого теплообмена в задачах определения тепловых режимов космических аппаратов. Труды седьмой Российской национальной конференции по теплообмену. В 3х томах, Москва, 22–26 октября 2018 года. Том 3. М.: Издательский дом МЭИ, 2018. С. 34–37.
 6. 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.
 7. Винокуров Д. К. Классификация методов расчёта диффузных угловых коэффициентов излучения. // *Математическое моделирование*. 2019. Т. 31, № 12. С. 57–70. DOI: 10.1134/S0234087919120050.
 8. Шадрин В. Ю., Семенов М. Ф., Иванов Г. И., Матвеева О. И. Двумерный коэффициент облучённости // *Челябинский физико-математический журнал*. 2020. Т. 5. № 2. С. 233–243. DOI: 10.24411/2500-0101-2020-151210.
 9. Шейн В. М. Особенности применения низкотемпературных инфракрасных излучателей в системах отопления зданий // *Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: материалы Пятьдесят первой (LI) научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО, Санкт-Петербург, 02–05 февраля 2022 года. Том 1. 2022. С. 280–284.*
 10. 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.
 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: 10.17586/1606-4313-2019-18-3-3-14
 13. Шацков А. О. Определение температуры адиабатных поверхностей в помещениях с лучистым отоплением. // *Теплоэнергетика*. 2021. № 9. С. 64–70. DOI 10.1134/S0040363621090083.
 14. Карагузов В. И. Тепловая производительность радиационного нагревателя в летний период // *Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение*. 2021. No 1. p. 28–33. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-28-33. (in Russian)
 3. 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
 4. Lyashenko P. S. The study of the angular coefficient of radiation when calculating the process of radiant heat transfer in chamber-type furnaces / P. S. Lyashenko, Y. A. Boev, D. L. Bezborodov. *Metallurgy XXI century eyes of the young: Sbornik Doklady V international scientific and practical conference of young scientists and students, Donetsk, 22 May 2019 / Ed. by Kochura V. V. Donetsk: Donetsk National Technical University, 2019. p. 284–286. (in Russian)*
 5. Vinokurov D. K. Features of correction of angular coefficients of radiant heat transfer in the problems of determination of thermal modes of spacecraft. *Proceedings of the Seventh Russian National Conference on Heat Transfer: In 3 volumes, Moscow, October 22–26, 2018. Vol. 3. Moscow: MPEI Publishing House, 2018. p. 34–37. (in Russian)*
 6. Basov A. A. Combined algorithm for determining the angle coefficient of radiation between polygons by contour integration. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*. 2022. no 1. p. 66–80. DOI: 10.31857/S0002331022010034. (in Russian)
 7. Vinokurov D. K. Classification of methods for calculating diffuse angular radiation coefficients. *Mathematical Modeling*. 2019. vol. 31, no 12. p. 57–70. DOI: 10.1134/S0234087919120050. (in Russian)
 8. Shadrin V. Yu., Semenov M. F., Ivanov G. I., Matveeva O. I. Two-dimensional irradiance coefficient. *Chelyabinsk Physical and Mathematical Journal*. 2020. vol. 5, no 2. p. 233–243. DOI: 10.24411/2500-0101-2020-151210. (in Russian)
 9. Shein V. Features of Low-Temperature Infrared Radiators Application in Building Heating Systems. *Almanac of Scientific Works of Young Scientists of ITMO University: Materials of the Fifty First (LI) Scientific and Educational-Methodical Conference of ITMO University, St. Petersburg, February 02–05, 2022. Vol. 1. Saint-Petersburg, 2022. p. 280–284. (in Russian)*
 10. 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.
 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 (in Russian). *Laboratory analysis. Applied Thermal Engineering*. 2021. 196. 117280. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117280.
 12. Tsoy A. P., Baranenko A. V., Granovsky A. S., Tsoy D. A. Modeling of unit operation with radiation cooling for air conditioning. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2019. No 3. p. 3–4. DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-3-3-14. (in Russian)
 13. Shatskov A. O. Determination of adiabatic surface temperature in rooms with radiant heating. *Teploenergetika*. 2021. no 9. p. 64–70. DOI: 10.1134/S0040363621090083. (in Russian)
 14. Karagusov V. I. Thermal performance of a radiation heater in the summer period. *Omsk Scientific Bulletin. Aircraft and missile and power engineering series*. 2019. vol. 3,

- ностроение. 2019. Т. 3. № 3. С. 26–32. DOI: 10.25206/2588-0373-2019-3-3-26-32.
15. Редько А. А., Куликова Н. В., Бурда Ю. А. Численный анализ параметров лучистой системы отопления с излучающими // Проблемы региональной энергетики. 2020. № 1 (45). С. 59–70. DOI: 10.5281/zenodo. 3713405.
- no 3. p. 26–32. DOI: 10.25206/2588-0373-2019-3-3-26-32. (in Russian)
15. Redko A. A., Kulikova N. V., Burda Yu. A. Numerical analysis of the parameters of radiant heating system with radiant. *Problems of Regional Energy*. 2020. no 1 (45). p. 59–70. DOI: 10.5281/zenodo. 3713405. (in Russian)

Сведения об авторах

Кривошеев Владимир Евгеньевич

К.т.н., доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Самарского государственного технического университета, г. Самара, ул. Галактионовская, 141, krivdm@yandex.com, ORCID: 0000-0003-2365-1861

Шейн Владислав Максимович

Аспирант Образовательного центра «Энергоэффективные инженерные системы», Университет ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, shein512.54@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0777-651X

Никитин Андрей Алексеевич

К.т.н., доцент Образовательного центра «Энергоэффективные инженерные системы», Университет ИТМО, 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, andyquest@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0084-7282

Information about authors

Krivosheev Vladimir E.

Ph.D., Associate Professor of the Department of Industrial Heat Power Engineering of Samara State Technical University, 141 Galaktionovskaya Str., Samara, Russia, krivdm@yandex.com, ORCID: 0000-0003-2365-1861

Shein Vladislav M.

Postgraduate Student of Educational Center of Energy Efficient Engineering Systems, ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, shein512.54@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0777-651X

Nikitin Andrey A.

Ph.D., Associate Professor of Educational Center of Energy Efficient Engineering Systems, ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, andyquest@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0084-7282



Статья доступна по лицензии
Creative Commons «Attribution-NonCommercial»



22-я Международная выставка оборудования для производства
молока и молочной продукции

DairyTech 2024

24–26 января 2024 г.

Международная выставка оборудования для производства молока и молочной продукции **DairyTech 2024** – это единственная в России международная выставка, на которой представлен полный спектр оборудования для переработки молока и производства молочной продукции. Участие в выставке – это возможность найти клиентов и встретиться с существующими, а также вживую продемонстрировать продукцию более 5 000 заинтересованным специалистам молочной отрасли из 76 регионов России и 38 стран мира.

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- ❖ Оборудование и технологии для первичной обработки молока.
- ❖ Оборудование и технологии для производства молочной продукции.
- ❖ Упаковочное, фасовочное и розливное оборудование.
- ❖ Ингредиенты для производства молочных продуктов, напитков.
- ❖ Оборудование и технологии для производства мороженого.
- ❖ Холодильное оборудование.

Место проведения:

Россия, Москва, МВЦ «Крокус Экспо»,
павильон 1
<http://www.crocus-expo.ru>

Организатор выставки: ITE Group

Горячая линия:
+7 (495) 799-55-85
E-mail: md@ite.group
<https://dairytech-expo.ru>