

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ГАЗОВОГО ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ

Л. В. Солод, к. т. н.

**Ключевые слова:** газовое лучистое отопление, проектирование, интенсивность теплового облучения, расчет инфракрасных трубчатых газовых обогревателей, температура излучающей поверхности

**Постановка проблемы.** В настоящее время различные приборы и системы лучистого (инфракрасного) отопления получают все большее распространение. Это объясняется их высокими энергосберегающими характеристиками. Как известно, снижение температуры внутри отапливаемого помещения сокращает расход топлива, а основная особенность лучистого отопления состоит в том, что оно позволяет поддерживать более низкую температуру внутреннего воздуха по сравнению с нормируемой [5], при соблюдении комфортных условий в отапливаемых помещениях. Кроме того, при лучистом отоплении значительно уменьшается перепад температур по высоте помещения, имеется возможность организации зонного (локального) обогрева, регулирования температурного режима в помещении. Все эти преимущества имеют особое значение при отоплении больших помещений промышленного или сельскохозяйственного назначения (цехи, склады, ангары, теплицы, фермы), открытых или полуоткрытых площадок (стадионы). С экономической точки зрения для таких потребителей более выгодно газовое лучистое отопление из-за высокой стоимости электроэнергии.

В связи с расширением спроса на системы газового лучистого отопления возникает потребность в проектировании таких систем. Состав проекта системы лучистого отопления существенно отличается от проектов отопления с использованием жидкого теплоносителя. Они не содержат проектов котельных и тепловых пунктов, гидравлического расчета системы с целью определения диаметров трубопроводов, подбора насосов и др. оборудования (поскольку отсутствует необходимость организации циркуляции жидкого теплоносителя), значительно сокращается раздел автоматизации, так как инфракрасные обогреватели поставляются в высокой степени готовности, включая блок автоматики.

В то же время в проекты лучистых систем отопления добавляется:

- решение вопросов подбора и размещения инфракрасных обогревателей в отапливаемом помещении;
- оценка интенсивности теплового облучения на рабочем месте;
- проектирование систем удаления продуктов сгорания;
- проектирование подводящих газопроводов внутри отапливаемого помещения;
- учет теплового воздействия инфракрасных обогревателей на расположенное рядом оборудование.

Одной из основных задач, которые необходимо решать при проектировании систем лучистого отопления, является определение интенсивности теплового облучения. Контроль этого параметра необходим как для соблюдения гигиенических требований, так и для обеспечения комфортного теплового режима в помещениях с лучистым отоплением.

**Анализ исследований.** Сложность и важность расчета интенсивности теплового облучения подчеркивается практически во всех исследованиях, посвященных газовому лучистому отоплению [1; 3; 7 – 9 и др.]. В [4] исследуются системы газового лучистого отопления с горелками инфракрасного излучения («светлыми» излучателями), приводятся формулы для определения облученности человека в помещении или на обогреваемой площадке, показано существование зависимости между теплотехническими характеристиками горелок, их размещением и облученностью. При определенном сочетании указанных параметров можно получить необходимое значение облученности.

Облученность влияет на результирующую температуру в помещении ( $t_R$ ), т. е. на его тепловой режим. В [4] приводится следующая зависимость:

$$t_R = t_g + 0,0716J_s \quad (1)$$

где  $t_g$  – температура воздуха в помещении;

0,0716 – переводной множитель,  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$ ;

$J_s$  – удельная облученность, Вт/м<sup>2</sup>.

В [2] предлагается формула комфортной облученности, в которой связываются фактические и комфортные параметры среды. В качестве отопительных приборов также рассматриваются «светлые» излучатели.

В [1; 9; 10] рассматриваются системы отопления как с горелками инфракрасного излучения, так и с инфракрасными трубчатыми газовыми обогревателями («темными» излучателями).

В [9] приведены схема и следующая формула для определения интенсивности облучения головы человека ( $J$ ) при температуре поверхности головы 310 К и приведенной степени черноты поверхностей излучателя и головы  $\approx 1$ :

$$J = \frac{1,8\Delta x^2 F_u}{R^4} \left[ \left( \frac{273 + t_u}{100} \right)^4 - 92 \right], \text{ Вт/м}^2, \quad (2)$$

где  $\Delta x$  – расстояние от головы человека до центра излучателя по нормали к его поверхности, м;

$F_u$  – площадь излучателя или его части, м<sup>2</sup>;

$t_u$  – средняя температура излучающей поверхности, °С;

$R$  – расстояние между центром излучателя или его части и головой человека, м, определяемое соотношением  $R = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  – разность координат центров площадок соответственно по оси  $Y$  и  $Z$ , м.

В [1] также приводится формула для определения интенсивности облучения на уровне головы человека:

$$q = \frac{c_0 \cdot \xi_{1-2} \cdot H_{1-2}}{F_2} \left[ \left( \frac{T_1(L)}{100} \right)^4 - 92 \right], \quad (3)$$

где  $c_0$  – коэффициент излучения АЧТ, 5,67 Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>);

$\xi_{1-2}$  – приведенная степень черноты;

$H_{1-2}$  – взаимная площадь излучения поверхностей, м<sup>2</sup>;

$T_1(L)$  – температура излучающей трубы, К;

$F_2$  – площадь головы человека, м<sup>2</sup>.

В [9; 10] отмечается, что на основании информации производителей и поставщиков оборудования для инфракрасного отопления практически невозможно определить значение интенсивности облучения в различных точках отапливаемого помещения и, таким образом, не возможно прогнозировать соответствие принимаемых решений по типу и размещению излучателей (обогревателей) требованиям действующих норм. Действительно, производители указывают мощность, размеры, вес излучателей, иногда обогреваемую площадь, но информация о температуре излучающей поверхности и предполагаемой облученности в обслуживаемых зонах, как правило, отсутствует.

**Цель статьи** – представить возможности использования метода расчета инфракрасных трубчатых газовых обогревателей [6] для определения интенсивности облучения при проектировании систем газового лучистого отопления.

**Изложение материала.** Очевидно, что для расчета интенсивности облучения необходимы данные о температуре излучающей поверхности. Если в качестве отопительных приборов в проектируемой системе газового лучистого отопления предполагается использование «светлых» излучателей, то для базового расчета может быть использована общая информация о них. В частности, в ДБН В.2.5.-20-2001. «Газоснабжение» указано, что температура излучающей поверхности таких излучателей 800 – 1000°С. «Светлые» излучатели компактны по конструкции, размеры их невелики, температура излучающей поверхности практически одинакова во всех ее точках. Если же проектируется система отопления с инфракрасными трубчатыми газовыми обогревателями (ИТГО), то для расчета интенсивности облучения необходимо знать распределение температуры излучающей поверхности по длине трубы-излучателя.

Конструкция ИТГО состоит из газогорелочного блока, трубы-излучателя и вентилятора. Длина трубчатой части ИТГО может достигать нескольких десятков метров и температура ее поверхности существенно изменяется по длине трубы-излучателя. Экспериментальные данные [6], показывают, что перепад значений температуры поверхности трубы-излучателя в зоне

газогорелочного блока и в зоне вентилятора может составлять от 100 до 300°С и более. Значение этого перепада температур зависит от длины, мощности и аэродинамических параметров обогревателя. Причем, температура поверхности изменяется по длине трубы не равномерно, см. рисунок 1.

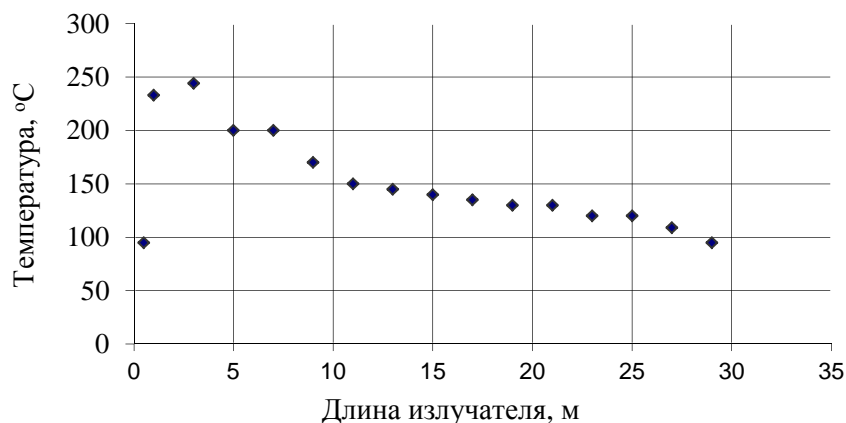


Рис. График изменения температуры поверхности трубы-излучателя ИТГО (данные эксперимента)

Очевидно, что вследствие неравномерности температуры излучающей поверхности по длине ИТГО, интенсивность облучения также будет неравномерна по длине. Таким образом, необходимо определять интенсивность облучения для отдельных точек или участков излучающей поверхности. Расчет одного значения интенсивности облучения для определенного ИТГО по средней температуре его поверхности (как это возможно для «светлых» обогревателей) будет иметь значительную погрешность.

Для расчета температуры излучающей поверхности ИТГО может быть применен метод, изложенный в [6]. Рассмотрим ИТГО линейной конфигурации мощностью 60 кВт, длина трубы – излучателя 19 м, ширина обогревателя с учетом отражателя – 400 мм. Результаты расчета распределения температуры излучающей поверхности ( $t$ ) по длине трубы – излучателя ( $l$ ), полученные по методу [6], представлены в таблице 1:

Таблица 1  
Результаты расчета распределения температуры излучающей поверхности по длине трубы-излучателя

$l, \text{ м}$	0,4	1	2	3	4	5	6	9	12	15	18
$t, \text{ °C}$	163	290	268	253	239	222	210	173	143	118	98

Условно разделим излучающую поверхность обогревателя на шесть участков длиной по 3 м каждый и рассчитаем значение интенсивности облучения головы человека, находящегося непосредственно под обогревателем в центре каждого участка, используя формулу (2).

Для расчета принимаем:  $\Delta x = h - 1,7$ , где  $h$  – высота установки ИТГО, м, 1,7 – средний рост человека, м;  $F = 3 \times 0,4 = 1,2 \text{ м}^2$  (3 м – длина участка излучающей поверхности, 0,4 – ширина ИТГО, м). Первоначально примем высоту установки обогревателя  $h = 3,5 \text{ м}$ . Результаты расчетов представлены в таблице 2:

## Результаты расчета интенсивности облучения ИТГО

Участок ИТГО	$t_u, ^\circ\text{C}$	$J, \text{Вт/м}^2$
0 м – 3 м	243,5	413,1
3 м – 6 м	231	368,8
6 м – 9 м	192	250,3
9 м – 12 м	158	168,7
12 м – 15 м	130,5	115,4
15 м – 18 м	108	79,1

Таким образом, для данного обогревателя максимальное значение интенсивности облучения наблюдается при нахождении человека под центром участка излучающей поверхности от газогорелочного блока до 3 м. Это объясняется высокими температурами излучающей поверхности на начальном участке вследствие наличия факела горения газовоздушной смеси в трубе-излучателе, что характерно для всех ИТГО.

Для соблюдения нормативных требований по величине интенсивности облучения необходимо привести в соответствие им значение интенсивности на начальном участке. При проектировании системы газового лучистого отопления это можно сделать, изменив высоту установки обогревателей, т. к. температура излучающей поверхности и ее площадь являются заданными техническими характеристикам определенного типа обогревателей, принимаемого по проекту. Также можно определить точки отапливаемого помещения, в которых могут находиться люди при нормируемом значении интенсивности облучения, т. е. на определенном расстоянии от обогревателя.

Так, например, для рассмотренного выше ИТГО интенсивность облучения головы человека, находящегося непосредственно под обогревателем, в центре начального участка, составит  $250 \text{ Вт/м}^2$  при высоте установки обогревателя 4,01 м,  $150 \text{ Вт/м}^2$  – при высоте установки обогревателя 4,69 м и  $35 \text{ Вт/м}^2$  – при высоте установки 7,88 м. Не более 250 и 150  $\text{Вт/м}^2$  это нормы интенсивности инфракрасного облучения, применяемые в России и европейских странах соответственно для непостоянных и постоянных рабочих мест, не более 35  $\text{Вт/м}^2$  – норма поверхностной плотности лучистого теплового потока на рабочем месте согласно [5].

Аналогичным расчетом можно оценивать тепловое воздействие инфракрасных обогревателей на расположенное рядом оборудование или другие поверхности. Для этого в формуле (2) нужно принять  $\Delta x$  равным расстоянию от оборудования до центра излучателя по нормали к его поверхности, а  $R$  определить как расстояние между центром излучателя или его части и оборудованием. Если площадь поверхности оборудования достаточно велика, можно произвести расчеты интенсивности облучения для различных точек поверхности оборудования.

Полученные данные об интенсивности облучения можно использовать для определения результирующей температуры в помещении, например, по зависимости (1).

**Выводы.** Для определения значений интенсивности теплового облучения при проектировании систем газового лучистого отопления необходимы данные о распределении температуры излучающей поверхности обогревателей. При проектировании системы отопления с инфракрасными трубчатыми газовыми обогревателями эти данные могут быть получены путем расчета по методу, изложенному в [6]. Применение данного метода расчета позволяет на стадии проектирования:

- получать данные об интенсивности облучения головы человека, находящегося в разных точках отапливаемого помещения, а, следовательно, оценивать расположение рабочих мест исходя из санитарных норм;
- определять оптимальную высоту установки обогревателей;
- оценивать тепловое воздействие обогревателей на расположенное рядом оборудование или другие поверхности.

Данные расчета температуры излучающей поверхности также могут быть использованы для расчета результирующей температуры в помещении.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Болотских Н. Н.** Повышение эффективности систем отопления газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Болотских Николай Николаевич. – Харьков, 2009. – 153 с.
2. **Ковалев А. Е.** Расчет мощности инфракрасных облучательных установок / А. Е. Ковалев // Водоснабжение и сантехника. – 1983. – № 2. – С. 27 – 28.
3. **Мачкаши А.** Лучистое отопление / А. Мачкаши, А. Банхиди; пер. с венгер. В. М. Беляева под ред. В. Н. Богословского, Л. М. Махова. – М. : Стройиздат, 1985. – 464 с.
4. **Родин А. К.** Газовое лучистое отопление / А. К. Родин. – Л. : Недра, 1987. – 191 с.
5. СНиП 2.04.05-91\*У. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – К. : КиевЗНИИЭП, 1996. – 89 с.
6. **Солод Л. В.** Метод розрахунку і раціональні параметри інфрачервоних трубчастих газових обігрівачів: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.03 / Солод Леонтіна Валеріївна. – Харків, 2011. – 137 с.
7. **Строй А. Ф.** Критерий комфортности и методика определения мощности различных систем отопления / А. Ф. Строй, Ю. К. Припотень // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 2. – С. 69 – 72.
8. **Шиванов В. В.** Обеспечение теплового режима производственных помещений системами газового лучистого отопления: дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Шиванов Владимир Владимирович. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2007. – 135 с.
9. **Шумилов Р. Н.** Особенности проектирования систем лучистого отопления с использованием газа / Р. Н. Шумилов, Ю. И. Толстова, А. А. Поммер // С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование. – М., 2008. – № 2. – С. 62 – 68.
10. **Шумилов Р. Н.** Лучистое отопление – мифы и реальность/ Р. Н. Шумилов, Ю. И. Толстова, А. А. Поммер // С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование. – М., 2006. – № 1. – С. 56 – 58.

УДК 697.245

**Определение интенсивности облучения при проектировании систем газового лучистого отопления / Л. В. Солод // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПГАСА, 2013. – № 3. – С. 24 – 28. – Библиогр.: (10 назв.).**

Представлены возможности использования метода расчета инфракрасных трубчатых газовых обогревателей для определения интенсивности облучения при проектировании систем газового лучистого отопления.

*Ключевые слова:* газовое лучистое отопление, проектирование, интенсивность теплового облучения, расчет инфракрасных трубчатых газовых обогревателей, температура излучающей поверхности.

**Визначення інтенсивності опромінення при проектуванні систем газового променистого опалення / Л. В. Солод // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д. : ПДАБА, 2013. – № 3. – С. 24 – 28. – Бібліогр.: (10 назв.).**

Показано можливості використання методу розрахунку інфрачервоних трубчастих газових обігрівачів для визначення інтенсивності опромінення при проектуванні систем газового променистого опалення.

*Ключові слова:* газове променисте опалення, проектування, інтенсивність теплового опромінення, розрахунок інфрачервоних трубчастих газових обігрівачів, температура випромінювальної поверхні.

**Determination of the intensity of irradiation in designing of system of gas radiant heating/ L. V. Solod // Visnyk of Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. – D. : PSACEA, 2013. – № 3. – P. 24 – 28. – Bibliogr.: (10 names).**

Possibilities of using the method of calculating of infrared gas tube heaters to determine the intensity of irradiation for designing of system of gas radiant heating are presented.

*Key words:* gas radiant heating, design, intensity of thermal irradiation, calculating of infrared gas tube heaters, temperature of the radiating surface.