

В статье рассматривается возможность реализации систем газового лучистого отопления промышленных зданий с учетом требований гигиенических норм. Для расчетов интенсивности теплового облучения рабочих мест использована методика, разработанная авторами. Установлено, что температуры поверхностей приборов газового лучистого отопления превышают значения, допустимые для большинства категорий помещений. Рассчитана допустимая высота установки некоторых моделей излучателей. На примере промышленного здания показана необходимость детальных расчетов при проектировании размещения, мощности и количества излучателей систем лучистого отопления.

Авторы: Р.Н. ШУМИЛОВ, зав. кафедрой, профессор, к.т.н.; Ю.И. ТОЛСТОВА, доц., к.т.н.; А.А. ПОММЕР, аспирант, Уральский государственный технический университет — УПИ, г. Екатеринбург

Особенности проектирования систем лучистого отопления с использованием газа

В настоящее время большое внимание уделяется проблемам энергосбережения и экономии энергоресурсов. Значительная часть потребляемой энергии тратится на отопление зданий, поэтому ведутся активные поиски наиболее экономичных и эффективных способов отопления. К числу энергоэффективных систем отопления относятся системы лучистого отопления, в которых в качестве отопительных приборов используются водяные, электрические или газовые инфракрасные обогреватели. Для промышленных цехов с большими строительными объемами наиболее перспективным является применение газовых инфракрасных излучателей. Это связано с тем, что в настоящее время газ является сравнительно дешевым и экологически чистым топливом. К любому объекту легче и дешевле подвести газопровод и непосредственно на месте решить проблемы теплоснабжения без прокладки протяженных металлоемких магистралей, дорогих и недостаточно эффективных из-за тепловых потерь.

На действующих предприятиях реконструкция систем отопления и вентиляции зачастую затрудняется из-за недостаточной мощности имеющихся источников теплоснабжения. Поэтому при наличии газоснабжения возможным путем решения теплоэнергетических проблем является использование лучистого отопления с помощью газовых излучателей.

При проектировании систем лучистого отопления необходимо производить оценку интенсивности теплового облучения на рабочем месте, как этого требу-

ют действующие нормативные документы и рекомендации.

Согласно СНиП 41-01-2003, п. 5.7 [1] в помещениях при лучистом отоплении интенсивность теплового облучения на рабочем месте в обслуживаемой (рабочей) зоне помещения не должна превышать 35 Вт/м² при 50% и более облучаемой поверхности тела. При проектиро-

вании систем газового лучистого отопления используются также «Рекомендации по применению систем обогрева с газовыми инфракрасными излучателями», разработанные АВОК [2]. Допустимая интенсивность теплового облучения в зависимости от температуры воздуха в помещении по нормативам [3] приведена в табл. 1. В СНиП 41-01-2003 [1]

■ Допустимая интенсивность теплового облучения человека табл. 1

Температура воздуха, °С	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²	
	голова	туловища
11	60*	150
12	60	125
13	60	100
14	45	75
15	30	50
16	15	25

* При интенсивности теплового облучения головы более 60 Вт/м² следует использовать головной убор.

■ Область применения газовых отопительных систем табл. 2

Категории помещений по взрыво-пожароопасности	Максимально допустимая температура теплоотдающей поверхности
Категории А и Б	Газовое отопление не допускается
Категории В1 – В4 без выделений пыли и аэрозолей или с выделением негорючей пыли	Для помещений категорий В1 – В4 (кроме складов категорий В1 – В4) не более 130 °С
Категории В1 – В4 с выделением горючей пыли и аэрозолей	Для помещений категорий В1 – В4 (кроме складов категорий В1 – В4) не более 110 °С
Категории Г и Д без выделений пыли и аэрозолей	Не ограничивается
Категории Г и Д с повышенными требованиями к чистоте воздуха	Газовое отопление не допускается
Категории Г и Д с выделением негорючей пыли и аэрозолей	Не более 150 °С
Категории Г и Д с выделением горючей пыли и аэрозолей	Газовое отопление не допускается
Категории Г и Д со значительным влаговыделением	Не более 150 °С

* А, Б — взрывопожароопасная; В1 – В4 — пожароопасная; Г, Д — нет.

регламентируется также область применения и допустимая температура поверхности газовых излучателей (табл. 2).

Приведенные выше требования накладывают серьезные ограничения на область применения излучателей. Однако на основании данных, представляемых производителями и поставщиками излучателей, практически невозможно заранее определить, применим ли выбранный тип излучателя в конкретном помещении с учетом его размеров, назначения и условий пребывания людей. Несмотря на имеющиеся ограничения, многие предприятия внедряют системы газового лучистого отопления. Так, в Уральском регионе предприятия холдингов УГМК и «Северсталь» активно переводят свои объекты с водяного отопления на газовое лучистое.

Подробное обоснование методики расчета интенсивности теплового облучения при лучистом отоплении приведено в работе [4]. Интенсивность теплового облучения зависит от температуры поверхности излучателя, его расположения относительно человека и взаимных площадей излучения.

Методика расчета интенсивности теплового облучения ориентирована на алгоритмизацию расчетов и использование ЭВМ. Поэтому координаты центра излучателя или его части и расчетной точки (голова человека) задаются в прямоугольной системе координат. Координатная ось *OX* должна быть параллельной нормали к плоскости излучающей поверхности, направления осей *OY* и *OZ* могут быть произвольными. Центр координатных осей *O* может быть размещен в любом месте помещения, исходя из удобства расчетов. На рис. 1 приведена схема к расчету интенсивности теплового облучения головы человека при горизонтальной и вертикальной установке излучателей.

Приняв температуру поверхности головы человека $t_{гч} = 273 + 37 = 310$ К; приведенную степень черноты $\epsilon_{гч} \approx 1$, получили выражение для определения интенсивности теплового облучения головы человека:

$$I_{гч} = \frac{1,8 \Delta x^2 F_{из}}{R^4} \left[\left(\frac{273 + t_{гч}}{100} \right)^4 - 92 \right],$$

где Δx — расстояние от головы человека до центра излучателя по нормали к его поверхности (рис. 1), м; $F_{из}$ — площадь излучателя или его части, м²; $t_{гч}$ — средняя температура излучающей поверхности, °С; R — расстояние между центром излучателя или его части и головой

■ Средняя температура поверхности и минимальная высота установки некоторых моделей излучателей

табл. 3

Модель	Габариты, м	Тепловая мощность, кВт	Средняя температура поверхности, °С	Минимальная высота установки, м
Светлые				
ГГИИ-5	0,506×0,316	5	563	5,8
ГГИИ-10	0,874×0,316	10	565	8,3
ГГИИ-15	1,242×0,316	15	577	10
ГГИИ-20	1,61×0,316	20	584	12
Темные				
ГГИИ-TSU22	4,96×0,508	22	299	11
ГГИИ-TSL22	9,39×0,305	22	280	10
ГГИИ-TSU38	6,565×0,61	38	311	15
ГГИИ-TSL38	12,39×0,305	38	320	14
DDSL10-2/Gogas	6,45×0,425	10	187	6,4
DDSL20-2/Gogas	6,45×0,425	20	273	10
DDSL20-3/Gogas	9,35×0,425	20	224	9,2
DDSL20-4/Gogas	12,25×0,425	20	193	8
DDSL30-3/Gogas	9,35×0,425	30	278	12
DSL30-4/Gogas	12,25×0,425	30	241	11

■ Результаты расчета облученности при газовом лучистом отоплении на рабочих местах цеха

табл. 4

№ излучателя	8	10	14	15	23
Суммарная облученность головы человека, Вт/м ²	117	117	115	117	93

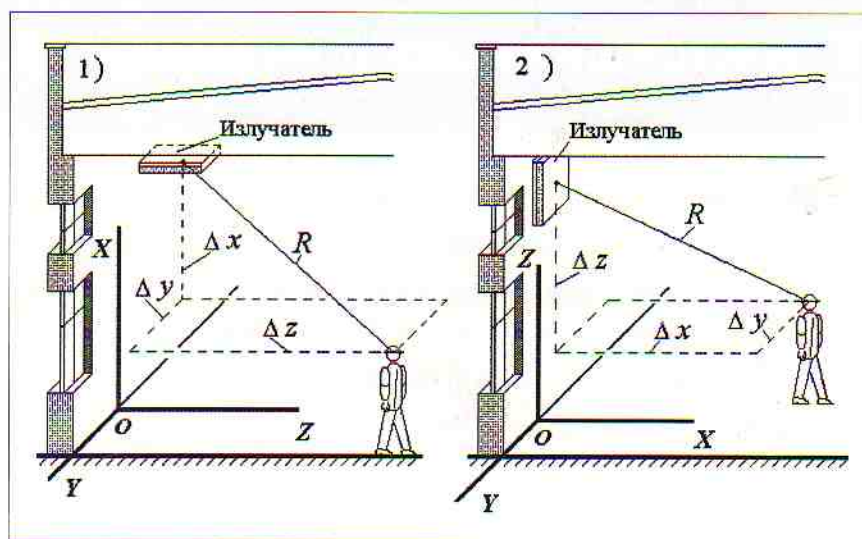
человека, м, определяемое соотношением $R^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2$.

Достоверность разработанной методики расчета облученности была подтверждена данными экспериментальных исследований [5].

В работе [4] приведены результаты расчета средней температуры излучающей поверхности различных типов излучателей и поверхностной плотности теплового потока излучателя (отношение тепловой мощности излучателя

к площади излучения, определяемая по габаритным размерам излучателя).

Установлено, что для моделей излучателей, представленных на рынке данного оборудования, средняя температура излучающей поверхности превышает допустимое значение 150 °С, что существенно ограничивает область их применения (табл. 2). Поэтому совершенствование конструкций излучателей должно быть направлено на уменьшение поверхностной плотности теплового потока



■ Рис. 1. Схема к расчету интенсивности теплового облучения головы человека (1 — при горизонтальной установке излучателей, 2 — при вертикальной установке; Δx , Δy , Δz — разность координаты центров площадок)

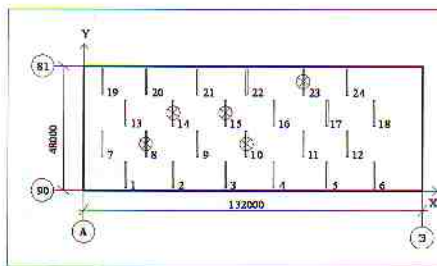


Рис. 2. Схема к расчету облученности в цехе (1, 2, 3, ... — номера инфракрасных излучателей; I — расчетные точки; II — газовый излучатель ИКНГ-50)

за счет уменьшения температуры нагревательных элементов и увеличения габаритных размеров излучателей.

С увеличением поверхностной плотности теплового потока излучателя возрастает доля теплоты, отдаваемой излучением, и может достигать 85 %, в то время как конвективная теплоотдача уменьшается с 50 до 15 %. Аналогичные данные приведены в монографии А.К. Родина [6], где используется показатель «лучистый КПД» излучателя. Поэтому утверждение некоторых производителей излучателей, что вся тепловая мощность излучателя расходуется на обогревание рабочей зоны помещения, является необоснованным.

Авторами выполнен расчет некоторых характеристик наиболее распространенных светлых и темных газовых инфракрасных излучателей моделей Gogas и ГИИ. Были определены средние температуры излучающих поверхностей и высоты установки излучателей с таким условием, чтобы облученность на рабочем месте, расположенном непосредственно под центром излучателя, составила 35 Вт/м², как этого требуют нормативные документы [1–3]. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Результаты расчетов показывают, что температуры излучающих поверхностей достигают значений от 200–300 °С для темных излучателей до 600 °С для светлых. Необходимая высота установки рассмотренных излучателей весьма высока и применима далеко не во всех помещениях.

Следует иметь в виду, что почти всегда в помещениях приходится устанавливать несколько излучателей, поэтому на человека действует совокупная лучистая нагрузка. В этом случае необходимая высота установки излучателей окажется еще большей. Таким образом, применение газовых инфракрасных излучателей требует детальных расчетов для обоснования соответствия проектируемых систем требованиям норм. Так, для проекта газового лучистого отопления производственного здания был выполнен расчет облученности на рабочих местах. По

проекту предприятия была предусмотрена установка 24 газовых инфракрасных излучателей фирмы «Купол-Старки», марки ИКНГ-50. План цеха с размещением излучателей приведен на рис. 2. Габариты излучателей: длина — 10 м, ширина — 0,61 м. Высота установки по техническим условиям — 15 м, расположение излучателей горизонтальное.

Средние температуры излучающих поверхностей были определены из уравнения теплового баланса излучателей с учетом их конструктивных особенностей и расположения. В результате для излучателей ИКНГ-50 средняя температура излучающей поверхности получилась равной 290 °С.

Расчет облученности был выполнен для зоны с наибольшей интенсивностью теплового облучения непосредственно под излучателями в центральной зоне цеха. Для этого было выбрано пять расчетных точек (рис. 2). Каждому излучателю был присвоен свой порядковый номер и определены его координаты. Были получены следующие результаты: при температуре излучателей 290 °С облученность в расчетных точках получилась порядка 120 Вт/м² (табл. 4). Средняя интенсивность теплового облучения, рассчитанная по всей площади пола на высоте 1,8 м, составила 113 Вт/м².

Таким образом, было выявлено существенное превышение допустимой интенсивности теплового облучения на рабочих местах. Было рекомендовано внести изменения в проект, например, заменить принятые модели на излучатели с меньшей температурой поверхности или изменить их расположение. Так, если заменить 24 излучателя ИКНГ-50 на 40 излучателей DSL30-4/Gogas и расположить их в три ряда на той же высоте в шахматном порядке, то облученность непосредственно под центрами излучателя сократится в два раза и составит порядка 58 Вт/м², что соответствует гигиеническим требованиям для заданных условий.

Полученный результат показывает необходимость детального расчета облученности человека при проектирова-

нии систем лучистого отопления. Такой расчет позволяет на стадии проектирования выявить возможные нарушения требований норм и внести необходимые изменения.

К числу недостатков систем газового лучистого отопления относят также необходимость отвода или ассимиляции продуктов сгорания. В первом случае это приводит к увеличению стоимости систем отопления. Во втором случае помещение должно быть оборудовано системами вентиляции, производительность которых определяется также назначением помещений и рассчитывается из условий ассимиляции тепло- или газовой делений. Естественно величина воздухообмена должна проверяться и на условие ассимиляции продуктов сгорания. Минимальный воздухообмен помещений с выделением вредных газов и паров оговорен СНиП 41-01-2003, п. 4.9 [1] и составляет не менее однократного, а при высоте более 6 м — не менее 6 м³ на 1 м² площади пола. При этом существенную роль в формировании теплового режима в обслуживаемых зонах будут играть воздушные потоки, создаваемые системами приточной вентиляции.

Отличительной особенностью систем лучистого отопления является то, что они преимущественно нагревают поверхности в помещении, а не воздух. Однако при этом температуры внутренних поверхностей наружных ограждений, расположенных в отапливаемой зоне, как правило, превышают температуры этих поверхностей при других видах отопления. Поэтому потери теплоты через ограждающие конструкции, а следовательно, и тепловая мощность системы отопления, могут быть больше.

Не все поверхности в помещении при лучистом отоплении прогреваются равномерно и одинаково. Равномерность прогрева зависит от распределения лучистых тепловых потоков по поверхностям отапливаемого помещения. При водяном и воздушном отоплении в формировании теплового режима существенную роль играют восходящие потоки теплого воздуха, которые переносят тепло в верхнюю зону помещения. Считается, что в помещениях с лучистым отоплением таких восходящих воздушных потоков практически нет, поэтому их влиянием можно пренебречь и вся мощность излучателей расходуется на обогрев помещений. Наши расчеты показывают, что доля теплоотдачи излучателя конвекцией к окружающему воздуху составляет 15–45 % в зависимости от

плотности теплового потока излучателя и способа его установки [4].

Для оценки энергетической эффективности систем лучистого отопления необходим детальный расчет, в ходе которого оценивается распределение лучистых тепловых потоков по поверхностям помещения. Температуры внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций и теплопотери помещения с учетом поступлений лучистого тепла от излучателей могут быть найдены из уравнений теплового баланса ограждающих конструкций.

В качестве примера был выполнен расчет теплового баланса производственного помещения размерами 40×60 м и высотой 16 м при лучистом и водяном отоплении. В соответствии с рекомендациями [1] температура воздуха в рабочей зоне была принята при лучистом отоплении 14 °С, что на 4 °С меньше, чем при водяном отоплении. Система лучистого отопления была сконструирована таким образом, чтобы выполнялись требования нормативных документов

по интенсивности теплового облучения человека. Были выбраны пять излучателей DSL30-4/Gogas (12,25×0,425 м) с температурой поверхности 240 °С. При лучистом отоплении теплопотери цеха составили 137 кВт, при водяном отоплении теплопотери для этого же помещения равны 150 кВт. Таким образом, лучистое отопление для условий примера действительно оказалось энергетически эффективнее водяного отопления. Окончательное решение может быть принято после экономического сравнения.

В работе [7] рассмотрены способы отопления помещений большого объема и даны приближенные геометрические характеристики, с помощью которых предлагается определять, какое отопление целесообразно — воздушное или лучистое. Выбор вида отопления является сложной инженерной задачей. Не следует противопоставлять водяное, воздушное или лучистое отопление или пытаться определить область применения. Необходимо детальный расчет энергетической и экономической эффективности. □

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция, кондиционирование/Госстрой России. М.: ФГУП ЦНС, 2004. 54 с.
2. Рекомендации по применению систем обогрева с газовыми инфракрасными излучателями. М.: изд. АВОК, 2005. 7 с.
3. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Р 2.2.2006-05. Гигиенические требования к микроклимату помещений, оборудованных системами лучистого обогрева. М.: ФС по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2006. 105 с.
4. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Поммер А.А. Совершенствование методики расчета лучистого отопления // Материалы международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». М.: изд. МГСУ, 2005. С. 107-112.
5. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Поммер А.А. Системы лучистого отопления с использованием газа // Материалы международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». М.: изд. МГСУ, 2007. С. 126-130.
6. Родин А.К. «Газовое лучистое отопление». Л.: Недра, 1987. 187 с.
7. Вишневецкий Е.П. Сравнительный анализ воздушного и лучистого отопления помещений большого объема // Сантехника. Отопление, Кондиционирование: ежемесячный специализированный журнал. №9/2006. С. 50-54.