



**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»**

**Документы нормативные для проектирования,  
строительства и эксплуатации объектов ОАО «Газпром»**

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА  
СИСТЕМ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ**

**СТО Газпром 2-1.9-440-2010**

**Стандарт организации**

**Москва 2010**

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»**

---

---

**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ**

**МЕТОДИКА  
РАСЧЕТА СИСТЕМ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ**

**СТО Газпром 2-1.9-440-2010**

---

---

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»**

**Открытое акционерное общество «Газпром промгаз»**

**Общество с ограниченной ответственностью «Газпром экспо»**

**Москва 2010**

**Предисловие**

**1 РАЗРАБОТАН**

Открытым акционерным обществом «Газпром промгаз»

**2 ВНЕСЕН**

Управлением энергосбережения и экологии Департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ОАО «Газпром»

**3 УТВЕРЖДЕН**

распоряжением ОАО «Газпром» от 04 марта 2010 г. № 43

**И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ**

**4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ**

## Содержание

1 Область применения.....	1
2 Нормативные ссылки .....	1
3 Термины, определения и сокращения .....	2
4 Обозначения.....	4
5 Применение систем лучистого отопления .....	6
5.1 Области целесообразного применения систем лучистого отопления.....	6
5.2 Особенности применения систем лучистого отопления с газовыми инфракрасными излучателями .....	7
6 Алгоритм расчета тепловой нагрузки на систему лучистого отопления .....	8
6.1 Общие положения .....	8
6.2 Определение потерь теплоты через ограждающие конструкции .....	8
6.3 Определение потерь теплоты за счет инфильтрации наружного воздуха.....	10
6.4 Определение потерь теплоты на нагревание материалов, оборудования и транспортных средств .....	11
6.5 Определение поступлений теплоты в помещение от технологического оборудования и других источников .....	11
6.6 Определение тепловой нагрузки на систему лучистого отопления.....	12
7 Алгоритм расчета облученности помещения при использовании системы лучистого отопления с темными излучателями .....	12
7.1 Общие положения.....	12
7.2 Определение температуры отражателя .....	12
7.3 Определение мощности излучения и лучистого коэффициента полезного действия излучателя.....	16
7.4 Расчет интенсивности теплового облучения в контрольных точках.....	16
8 Алгоритм расчета облученности помещения при использовании системы лучистого отопления со светлыми излучателями .....	18
8.1 Общие положения.....	18
8.2 Определение температуры отражателя.....	18
8.3 Определение мощности излучения и коэффициента полезного действия излучателя.....	20
8.4 Расчет интенсивности теплового облучения в контрольных точках.....	20

## **СТО Газпром 2-1.9-440-2010**

9 Проверка выполнения условий теплового комфорта .....	22
10 Алгоритм поиска оптимального варианта системы лучистого отопления.....	23
10.1 Постановка задачи оптимизации .....	23
10.2 Алгоритм расчета оптимального размещения излучателей .....	23
Приложение А (справочное) Справочные таблицы .....	25
Приложение Б (рекомендуемое) Примеры расчетов .....	30
Приложение В (рекомендуемое) Таблицы для расчета температуры отражателя .....	46
Библиография .....	51

## Введение

Настоящий стандарт предназначен для использования при проектировании систем лучистого отопления как одного из наиболее перспективных направлений повышения энергоэффективности систем отопления производственных и общественных зданий и помещений.

Стандарт разработан ОАО «Газпром промгаз» в рамках договора от 10.09.2008 № 1016-08-2.

Работа выполнена в НТЦ «Энергоэффективность» авторским коллективом в составе: С.А. Крупенников – главный научный сотрудник, О.Г. Рогинский – старший научный сотрудник, Т.Н. Теленкова – старший научный сотрудник.

От Управления энергосбережения и экологии Департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ОАО «Газпром» в разработке стандарта принимали участие: А.Г. Ишков – начальник Управления, заместитель начальника Департамента, Е.В. Дедиков – заместитель начальника отдела, Е.С. Фомичев – главный технолог.

**СТАНДАРТ ОТКРЫТОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «ГАЗПРОМ»**

---

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА СИСТЕМ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ**

---

Дата введения – 2010-12-30

## **1 Область применения**

1.1 Настоящий стандарт устанавливает единые правила расчета систем лучистого отопления производственных и общественных зданий и помещений.

1.2 Положения настоящего стандарта обязательны для применения структурными подразделениями, дочерними обществами и организациями ОАО «Газпром» при проектировании или проведении поверочных расчетов систем лучистого отопления.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:  
ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях

СТО Газпром РД 1.2-137-2005 Рекомендации по проектированию систем газового лучистого отопления и газового воздушного отопления производственных и общественных зданий

СТО Газпром 2-3.5-051-2006 Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов

СТО Газпром 2-1.9-362-2009 Методика расчета автономных систем воздушного отопления

Примечание— При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов по соответствующим указателям, составленным на 1 января текущего года, и информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

### 3 Термины, определения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями и сокращения:

**3.1 газовое лучистое отопление:** Отопление помещения и/или обогрев рабочих мест с помощью газовых инфракрасных излучателей.

**3.2 светлый газовый инфракрасный излучатель:** Прибор, предназначенный для отопления и/или обогрева рабочих мест и оборудованный инжекционной горелкой с излучающей насадкой и отражателем.

Примечание – Температура наружной поверхности излучающей насадки светлого ГИИ обычно находится в пределах 750 °С – 950 °С.

**3.3 темный газовый инфракрасный излучатель:** Прибор, предназначенный для отопления и/или обогрева рабочих мест и оборудованный дутьевой автоматической горелкой, размещенной внутри излучающей трубы, и отражателем.

Примечание – Температура наружной поверхности излучающей трубы темного ГИИ обычно находится в пределах 250 °С – 600 °С.

**3.4 отражатель:** Теплоотражающий экран, участвующий в формировании пространственного распределения теплового потока, испускаемого излучателем.

**3.5 поток излучения:** Количество теплоты, переносимой излучением в единицу времени через заданную поверхность.

**3.6 поток собственного излучения:** Поток излучения, испускаемого телом и зависящего только от температуры и радиационных свойств данного тела.

**3.7 поток эффективного излучения:** Поток излучения, равный сумме потоков собственного и отраженного излучения.

**3.8 поток результирующего излучения:** Поток излучения, равный разности потоков поглощенного и собственного излучения.

Примечание – Для непрозрачных тел поток результирующего излучения также равен разности потоков падающего и эффективного излучения.

**3.9 плотность потока излучения:** Отношение потока излучения, приходящегося на элементарную поверхность, к площади этой поверхности.

**3.10 угловой коэффициент излучения:** Коэффициент, характеризующий вклад эффективного излучения одной поверхности в поток, падающий на другую поверхность.

**3.11 разрешающий угловой коэффициент излучения:** Коэффициент, характеризующий вклад собственного излучения одной поверхности в поток, падающий на другую поверхность, с учетом многократных отражений на всех поверхностях, участвующих в радиационном теплообмене.

3.12 **отражательная способность:** Доля потока падающего излучения, отражаемая телом.

3.13 **абсолютно черное тело:** Тело, поглощающее все падающее на него излучение.

3.14 **степень черноты:** Отношение плотности потока собственного излучения тела к плотности потока излучения абсолютно черного тела при той же температуре.

3.15 **контрольная плоскость:** Горизонтальная плоскость, расположенная на высоте 1,7 м над уровнем пола.

3.16 **интенсивность теплового облучения:** Плотность потока излучения, падающего на контрольную плоскость.

3.17 **коэффициент облучения:** Коэффициент пропорциональности между интенсивностью теплового облучения и плотностью потока эффективного излучения, испускаемого излучающей поверхностью.

3.18 **контрольные точки:** Точки, в которых производится расчет интенсивности теплового облучения.

3.19 **угол облучения:** Угол, под которым поток излучения, испускаемого излучателем, падает в контрольную точку.

3.20 **облученность помещения:** Значения интенсивности теплового облучения в контрольных точках.

3.21 **коэффициент теплоотдачи:** Коэффициент, произведение которого на разность температур между внешней поверхностью тела и окружающей средой, равно плотности переносимого между ними теплового потока.

3.22 **коэффициент теплопередачи:** Коэффициент, произведение которого на разность температур между внутренней поверхностью тела и окружающей средой равно плотности переносимого между ними теплового потока.

3.23 **тепловая мощность излучателя:** Количество теплоты, выделяющейся в излучателе в единицу времени в результате сгорания топлива.

3.24 **теплопроизводительность излучателя:** Суммарный (лучистый и конвективный) тепловой поток, поступающий от излучателя в отапливаемое помещение.

3.25 **мощность излучения:** Лучистый поток, поступающий от излучателя в отапливаемое помещение.

3.26 **общий коэффициент полезного действия излучателя:** Отношение теплопроизводительности излучателя к его тепловой мощности.

3.27 **лучистый коэффициент полезного действия излучателя:** Отношение мощности излучения к тепловой мощности излучателя.

3.28 **тепловая потребность помещения:** Тепловой поток, который необходимо подавать в отапливаемое помещение для обеспечения нормативного значения температуры воздуха.

3.29 **тепловая нагрузка на систему лучистого отопления:** Тепловой поток, создаваемый излучателями и численно равный тепловой потребности помещения.

3.30 **постоянное рабочее место:** Место, на котором работающий находится большую часть своего рабочего времени (более 50 % или более 2 ч непрерывно). Если при этом работа осуществляется в различных пунктах рабочей зоны, постоянным рабочим местом считается вся рабочая зона.

[ГОСТ 12.1.005-88, приложение 1, пункт 4]

3.31 **непостоянное рабочее место:** Место, на котором работающий находится меньшую часть (менее 50% или менее 2 ч непрерывно) своего рабочего времени.

[ГОСТ 12.1.005-88, приложение 1, пункт 5]

3.32 **алгоритм:** Система операций или вычислений, которая после их выполнения в определенном порядке приводит к решению поставленной задачи.

3.33 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ГИИ – газовый инфракрасный излучатель;

ГИС – газоизмерительная станция;

ГРС – газораспределительная станция;

ГСМ – горючесмазочные материалы;

КС – компрессорная станция;

КПД – коэффициент полезного действия;

КТП – компрессорная трансформаторная подстанция;

КЦ – компрессорный цех;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

РЭБ – ремонтно-эксплуатационный блок;

ХВО – химводоочистка.

## 4 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

$L_{\text{п}}$  – длина помещения, м;

$B_{\text{п}}$  – ширина помещения, м;

$H_{\text{п}}$  – высота помещения, м;

$V_{\text{п}}$  – внутренний объем помещения, м<sup>3</sup>;

- $t_n$  – расчетная температура наружного воздуха, °С;  
 $t_b$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;  
 $Q_{\text{п}}$  – тепловая потребность помещения, Вт;  
 $T$  – температура, К;  
 $F$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>;  
 $\varepsilon$  – степень черноты;  
 $R = 1 - \varepsilon$  – отражательная способность;  
 $Q_{\text{пад}, i}$  – поток излучения, падающего на  $i$ -ю поверхность, Вт;  
 $Q_{\text{эф}, i}$  – поток эффективного излучения  $i$ -й поверхности, Вт;  
 $Q_{\text{рез}, i}$  – поток результирующего излучения  $i$ -й поверхности, Вт;  
 $\varphi_{k, i}$  – угловой коэффициент излучения с  $k$ -й на  $i$ -ю поверхность;  
 $\Phi_{k, i}$  – разрешающий угловой коэффициент излучения с  $k$ -й на  $i$ -ю поверхность.  
 $q_{\text{эф}}$  – плотность потока эффективного излучения, Вт/ м<sup>2</sup>;  
 $q_{\text{обл}}$  – интенсивность теплового облучения, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/( м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>) – постоянная Стефана – Больцмана;  
 $Q_{\text{газ}}$  – тепловая мощность излучателя, Вт;  
 $Q_{\text{изл}}$  – теплопроизводительность излучателя, Вт;  
 $Q_{\text{луч}}$  – мощность излучения, Вт;  
 $Q_{\text{от}}$  – тепловая нагрузка на систему отопления, Вт;  
 $\eta_{\text{общ}}$  – общий КПД излучателя;  
 $\eta_{\text{изл}}$  – лучистый КПД излучателя;  
 $\theta$  – угол облучения, рад;  
 $\theta_1$  – угол облучения, для которого боковая поверхность отражателя начинает экранировать излучающую поверхность, рад;  
 $\theta_2$  – угол облучения, начиная с которого боковая поверхность отражателя полностью экранирует излучающую поверхность, рад;  
 $Q_{\text{сло}}$  – тепловая нагрузка на систему лучистого отопления, Вт;

**Индексы:**

- 0 – условная поверхность, замыкающая полость излучателя;  
 1 – излучающая поверхность;  
 2 – внутренняя поверхность отражателя.

## 5 Применение систем лучистого отопления

### 5.1 Области целесообразного применения систем лучистого отопления

5.1.1 Размещение ГИИ не допускается:

- во взрывоопасных зонах производственных и складских помещений;
  - в помещениях подвальных и цокольных этажей;
  - зданиях V степени огнестойкости;
  - зданиях любой степени огнестойкости классов конструктивной пожарной опасности С1, С2 и С3 – по СП 7.13130.2009 [1] (пункт 5.11);
- в системах отопления и обогрева административно-бытовых помещений – по СТО Газпром РД 1.2-137 (пункт 5.2).

Примечание – Классификация зданий по степени огнестойкости и конструктивной пожарной опасности приведена в СНиП 21-01-97 [2].

5.1.2 Размещение ГИИ допускается:

- на открытых и полукрытых площадках;
- в общественных помещениях с непостоянным пребыванием людей – по СНиП 41-01-2003 [3] (пункт 6.3.8);
- отдельных производственных и складских помещениях, указанных в пунктах 5.1.4 и 5.1.5.

5.1.3 Системы лучистого отопления и обогрева с темными ГИИ допускается применять:

- в производственных и складских помещениях категории В2, В3, В4 (без выделения горючей пыли и аэрозолей или с выделением негорючей пыли) класса функциональной пожарной опасности Ф5.1 и Ф5.2 (кроме стоянок автомобилей, книгохранилищ, архивов, высокостеллажных складов);
- производственных и складских помещениях категорий Г и Д – по СП 7.13130.2009 [1] (пункт 5.11).

Примечания

1 Классификация помещений по функциональной пожарной опасности приведена в СНиП 21-01-97 [2].

2 Определение категорий помещений по взрывопожарной и пожарной опасности приведено в Федеральном законе [4] и НПБ 105-2003 [5].

3 Перечень производственных и складских помещений объектов магистральных газопроводов категорий В2–В4, Г, Д приведен в таблице А.1 (приложение А).

5.1.4 Системы лучистого отопления и обогрева со светлыми ГИИ допускается применять в производственных и складских помещениях категорий Г и Д без выделений пыли и аэрозолей – по СТО Газпром РД 1.2-137 (пункт 5.2).

5.1.5 Системы лучистого отопления с ГИИ следует применять:

- для отопления высоких (более 5 м) помещений без перегрева воздуха в подпотолочном пространстве;
- создания в помещении зон с различными температурными режимами при отсутствии интенсивного движения воздуха;
- локального обогрева рабочих мест в неотапливаемых и отапливаемых помещениях с температурой воздуха ниже нормируемой, на открытых и полукрытых площадках;
- отопления складских помещений и малопосещаемых рабочих мест.

5.1.6 Системы лучистого отопления с темными ГИИ должны предусматриваться наряду с автономными котельными в качестве основных источников децентрализованного теплоснабжения – по ВРД 39-1.8-055-2002 [6] (пункт 14.3).

## **5.2 Особенности применения систем лучистого отопления с газовыми инфракрасными излучателями**

5.2.1 При использовании систем лучистого отопления температура воздуха в обслуживаемой (рабочей) зоне должна быть не менее чем на 1 °С ниже максимально допустимой температуры в холодный период года и не должна быть ниже минимально допустимой температуры в холодный период года более чем на 3 °С для общественных и на 4 °С для производственных помещений – по СНиП 41-01-2003 [3] (пункт 5.7).

5.2.2 Размещение ГИИ следует предусматривать в верхней зоне помещения, на высоте не менее 4 м от поверхности пола обогреваемой зоны – по СТО Газпром РД 1.2-137 (пункт 6.6).

5.2.3. Для обеспечения условий теплового комфорта на рабочих местах, расположенных вдоль наружных стен здания, при выборе схемы размещения ГИИ необходимо предусматривать облучение наружных стен на высоту не менее 2 м от пола (высоту рабочей зоны).

5.2.4 Максимальное значение лучистого КПД темных ГИИ обеспечивается при их горизонтальном расположении.

5.2.5 При проектировании вентиляции в помещениях, оборудованных светлыми ГИИ, помимо расчета воздухообмена по технологическим вредностям, должен выполняться расчет из условия допустимых концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны и на рабочих местах, расположенных выше уровня установки ГИИ, – по СТО Газпром РД 1.2-137 (пункт 11.2).

5.2.6 При использовании светлых ГИИ отапливаемое помещение должно быть оборудовано системой приточно-вытяжной вентиляции, а раздача приточного вентиляционного воздуха организована таким образом, чтобы он поступал в рабочую зону без перемешивания с продуктами сгорания. При этом концентрация вредных веществ в воздухе, поступающем в помещение от системы отопления, не должна превышать 30 % от значений ПДК в воздухе

рабочей зоны, установленных ГОСТ 12.1.005. Для соблюдения этого требования должен быть предусмотрен постоянный автоматический контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны – по СТО Газпром РД 1.2-137 (пункты 11.1; 11.4; 7.11; 7.12).

5.2.7 Концентрация вредных веществ в выбросах в атмосферу от систем газового лучистого отопления не должна превышать максимальных разовых ПДК для атмосферного воздуха населенных мест – по СТО Газпром РД 1.2-137 (пункт 7.13).

5.2.8 Система газового лучистого отопления должна быть оборудована средствами автоматического регулирования, защиты, контроля и сигнализации, обеспечивающими безопасную эксплуатацию ГИИ без постоянного обслуживающего персонала – по СТО Газпром РД 1.2-137 (пункт 12.1).

## **6 Алгоритм расчета тепловой нагрузки на систему лучистого отопления**

### **6.1 Общие положения**

Расчет проводят в соответствии с 6.3.4 СНиП 41-01-2003 [3].

Последовательность расчета:

- определение потерь теплоты через ограждающие конструкции;
- определение потерь теплоты за счет инфильтрации наружного воздуха;
- определение потерь теплоты на нагревание материалов, оборудования и транспортных средств;
- определение поступлений теплоты в помещение от технологического оборудования и других источников;
- определение тепловой нагрузки на систему отопления.

### **6.2 Определение потерь теплоты через ограждающие конструкции**

6.2.1 В качестве исходных данных для расчета используют следующие параметры температурного режима:

- расчетную температуру наружного воздуха – температуру воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 – по СНиП 23-01-99 [7] (таблица 1, графа 5) и СНиП 41-01-2003 [3] (пункт 5.10);
- температуры в соседних помещениях  $t'_{в}, ^\circ\text{C}$ , если они отличаются от температуры внутреннего воздуха более чем на 3 °С – по СНиП 41-01-2003 [3] (пункт 6.3.4);
- расчетную температуру внутреннего воздуха – по 5.2.1 и таблицам А.2–А.4 (приложение А).

В производственных помещениях площадью более 50 м<sup>2</sup> на одного работающего следует обеспечивать расчетную температуру воздуха на постоянных рабочих местах и более низкую (но не ниже 10 °С) на непостоянных рабочих местах – по СНиП 41-01-2003 [3] (пункт 5.1).

В производственных и общественных помещениях отапливаемых зданий, когда они не используются и в нерабочее время, можно принимать расчетную температуру воздуха ниже нормируемой, но не ниже 5 °С в производственных помещениях и 12 °С в общественных помещениях – по СНиП 41-01-2003 [3] (пункт 5.1).

6.2.2 Площади поверхностей наружных ограждающих конструкций определяются по внутренним размерам здания – по СП 23-101-2004 [8] (пункт 5.4.5).

6.2.3 Приведенное сопротивление теплопередаче дверей и ворот должно составлять не менее 60 % от приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен.

6.2.4 Потери теплоты через ограждения помещения  $Q_1^-$ , Вт, определяются по формуле

$$Q_1^- = Q' + Q'' + Q''' + \widehat{Q}, \quad (6.1)$$

где  $Q'$  – потери теплоты через вертикальные несветопрозрачные ограждающие конструкции (наружные стены, двери и ворота), Вт;

$Q''$  – потери теплоты через потолочное перекрытие, Вт;

$Q'''$  – потери теплоты через пол на грунте или лагах, а также стены подвальных этажей и технических подвалов, расположенных ниже уровня земли, Вт;

$\widehat{Q}$  – потери теплоты через светопрозрачные конструкции (окна, зенитные фонари), Вт.

6.2.5 Потери теплоты через вертикальные несветопрозрачные ограждающие конструкции определяются по формуле

$$Q' = \left( \beta'_{\text{НС}} \cdot \frac{F'_{\text{НС}}}{R'_{\text{НС}}} + \frac{F'_{\text{ВС}}}{R'_{\text{ВС}}} + \beta'_{\text{ДВ}} \cdot \frac{F'_{\text{ДВ}}}{R'_{\text{ДВ}}} + \beta'_{\text{ВР}} \cdot \frac{F'_{\text{ВР}}}{R'_{\text{ВР}}} \right) \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{х}}), \quad (6.2)$$

где  $\beta'_{\text{НС}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий ориентацию ограждения по сторонам света и угловое расположение помещения – по таблице А.5 (приложение А);

$\beta'_{\text{ДВ}}$  и  $\beta'_{\text{ВР}}$  – поправочные коэффициенты, учитывающие врывание холодного воздуха через наружные двери или ворота в помещение, не оборудованное воздушно-тепловыми завесами – по таблице А.6 (приложение А). При наличии воздушно-тепловых завес поправочные коэффициенты равны 1;

$F'_{\text{НС}}, F'_{\text{ВС}}, F'_{\text{ДВ}}, F'_{\text{ВР}}$  – площади наружных и внутренних стен, дверей и ворот, м<sup>2</sup>;

$R'_{\text{НС}}, R'_{\text{ВС}}, R'_{\text{ДВ}}, R'_{\text{ВР}}$  – приведенные сопротивления теплопередаче наружных и внутренних стен, дверей и ворот, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт – по СП 23-101-2004 [8] (подраздел 9.1);

$t_{\text{х}}$  – температура воздуха за ограждениями ( $t_{\text{х}} = t_{\text{н}}$  для наружных ограждений,  $t_{\text{х}} = t'_{\text{в}}$  для внутренних ограждений), °С.

6.2.6 Потери теплоты через потолочное перекрытие  $Q''$ , Вт, определяются по формуле

$$Q'' = \frac{F''}{R''} \cdot (t_B - t_X), \quad (6.3)$$

где  $F''$  – площадь перекрытия, м<sup>2</sup>;

$R''$  – приведенное сопротивление теплопередаче перекрытия, (м<sup>2</sup> · °С)/Вт – в соответствии с СП 23-101-2004 [8] (пункт 10.1);

$t_X$  – температура воздуха над перекрытием ( $t_X = t_H$  для наружного перекрытия,  $t_X = t'_B$  для внутреннего перекрытия), °С.

6.2.7 Потери теплоты через пол на грунте или лагах, а также стены подвальных этажей и технических подвалов, расположенных ниже уровня земли  $Q'''$ , Вт, определяются по формуле

$$Q''' = \sum \frac{F'''}{R'''} \cdot (t_B - t_H), \quad (6.4)$$

где  $F'''$  и  $R'''$  – площади, м<sup>2</sup>, и приведенные сопротивления теплопередаче, (м<sup>2</sup> · °С)/Вт, четырех расчетных зон, выделенных в пределах пола в соответствии с СП 23-101-2004 [8] (подраздел Я.1).

Примечание – В формуле (6.4) символ  $\Sigma$  обозначает суммирование по расчетным зонам.

6.2.8 Потери теплоты через светопрозрачные конструкции  $\hat{Q}$ , Вт, определяются по формуле

$$\hat{Q} = \sum \frac{\hat{F}}{(1,375 - 0,5\hat{\beta})\hat{R}} \cdot (t_B - t_H), \quad (6.5)$$

где  $\hat{F}$  и  $\hat{R}$  – площади, м<sup>2</sup>, и приведенные сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций, (м<sup>2</sup> · °С)/Вт – в соответствии с СП 23-101-2004 [8] (раздел 9);

$\hat{\beta}$  – отношение площади остекления к площади заполнения светового проема – по СП 23-101-2004 [8] (пункт 9.4.3).

Примечание – В формуле (6.5) символ  $\Sigma$  обозначает суммирование по всем светопрозрачным конструкциям.

### 6.3 Определение потерь теплоты за счет инфильтрации наружного воздуха

6.3.1 Интенсивность потерь теплоты за счет инфильтрации наружного воздуха через воздухопроницаемые элементы ограждающих конструкций (окна, фонари, двери, ворота)  $\alpha'_B$ , Вт/(м<sup>2</sup> · °С), или через стыки между панелями наружных стен  $\alpha''_B$ , Вт/(м · °С), равна

$$\alpha'_B (\alpha''_B) = g_B \cdot c_B / 3600, \quad (6.6)$$

где  $g_B$  – максимально допустимая воздухопроницаемость элементов ограждающих конструкций, кг/(м<sup>2</sup> · ч) или кг/(м · ч) (для стыков) – по таблице А.7 (приложение А);

$c_B = 1000$  (Дж/ (кг · °С) – удельная теплоемкость воздуха.

6.3.2 Потери теплоты за счет инфильтрации наружного воздуха  $Q_2^-$ , Вт, определяются по формуле

$$Q_2^- = (\sum \alpha'_B F + \alpha''_B L) \cdot (t_B - t_H), \quad (6.7)$$

где  $F$  – площади воздухопроницаемых элементов ограждающих конструкций, м<sup>2</sup>;

$L$  – длина стыков между панелями наружных стен, м.

Примечание – В формуле (6.7) символ  $\Sigma$  обозначает суммирование по всем воздухопроницаемым элементам ограждающих конструкций.

#### 6.4 Определение потерь теплоты на нагревание материалов, оборудования и транспортных средств

Потери теплоты на нагревание материалов, оборудования и транспортных средств, поступающих в помещение  $Q_3^-$ , Вт, определяются по формуле

$$Q_3^- = c_M G_M (t_B - t_M), \quad (6.8)$$

где  $c_M$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг · °С);

$G_M$  – массовый расход, кг/с;

$t_M$  – температура, °С.

#### 6.5 Определение поступлений теплоты в помещение от технологического оборудования и других источников

Поступления теплоты в помещение определяются:

- от оборудования и трубопроводов  $Q_1^+$ , Вт – по данным технологической части;

- от солнечного излучения через остекленные проемы  $Q_2^+$ , Вт – по СНиП 23-02-2003 [9]

(пункт Г.7);

- от находящихся в помещении людей  $Q_3^+$ , Вт – по таблице А.8 (приложение А);

- от искусственного освещения  $Q_4^+$ , Вт – принимаются равными суммарной мощности источников освещения – по справочнику [10] (подраздел 2.3);

- от работающих электродвигателей  $Q_5^+$ , Вт – по формуле

$$Q_5^+ = P k_1 k_2 (1 - \eta) / \eta, \quad (6.9)$$

где  $P$  – установленная мощность электродвигателя, Вт;

$\eta$  и  $k_1$  – КПД и коэффициент загрузки двигателя;

$k_2$  – коэффициент одновременности – по справочнику [10] (подраздел 2.3).

## 6.6 Определение тепловой нагрузки на систему лучистого отопления

6.6.1 Тепловая нагрузка на систему лучистого отопления, равная тепловой потребности помещения, определяется по формуле

$$Q_{\text{сло}} = \sum_{i=1}^3 q_i^- - \sum_{i=1}^5 q_i^+, \quad (6.10)$$

в которой первая сумма определяется по формулам (6.1), (6.7), (6.8), а вторая – согласно подразделу (6.5).

6.6.2 Пример расчета тепловой нагрузки на систему лучистого отопления помещения для хранения резервных двигателей РЭБ КС приведен в таблице Б.1 (приложение Б).

## 7 Алгоритм расчета облученности помещения при использовании системы лучистого отопления с темными излучателями

### 7.1 Общие положения

Последовательность расчета:

- определение температуры отражателя;
- определение мощности излучения и лучистого КПД излучателя;
- расчет интенсивности теплового облучения в контрольных точках;
- проверка выполнения условий теплового комфорта.

### 7.2 Определение температуры отражателя

7.2.1 В качестве исходных данных используются следующие параметры темного линейного и *U*-образного излучателя, показанные на рисунке 1:

- длина *l*, ширина *b*, высота *h*, м;
- угол раскрытия отражателя  $\alpha$ , рад;
- радиус излучающей трубы *r*, м;
- расстояние от оси излучающей трубы до плоскости, замыкающей полость отражателя *s*, м;
- расстояние между осями ветвей *U*-образной излучающей трубы *c*, м;
- температура излучающей трубы  $T_1$ , К;
- степень черноты излучающей трубы  $\varepsilon_1$ ;
- степень черноты внутренней поверхности отражателя  $\varepsilon_2$ ;
- степень черноты внешней поверхности отражателя  $\varepsilon'$ ;
- средняя температура в отапливаемом помещении  $T_0$ , К;
- тепловая мощность излучателя  $Q_{\text{газ}}$ , Вт;
- общий КПД излучателя  $\eta_{\text{общ}}$ .

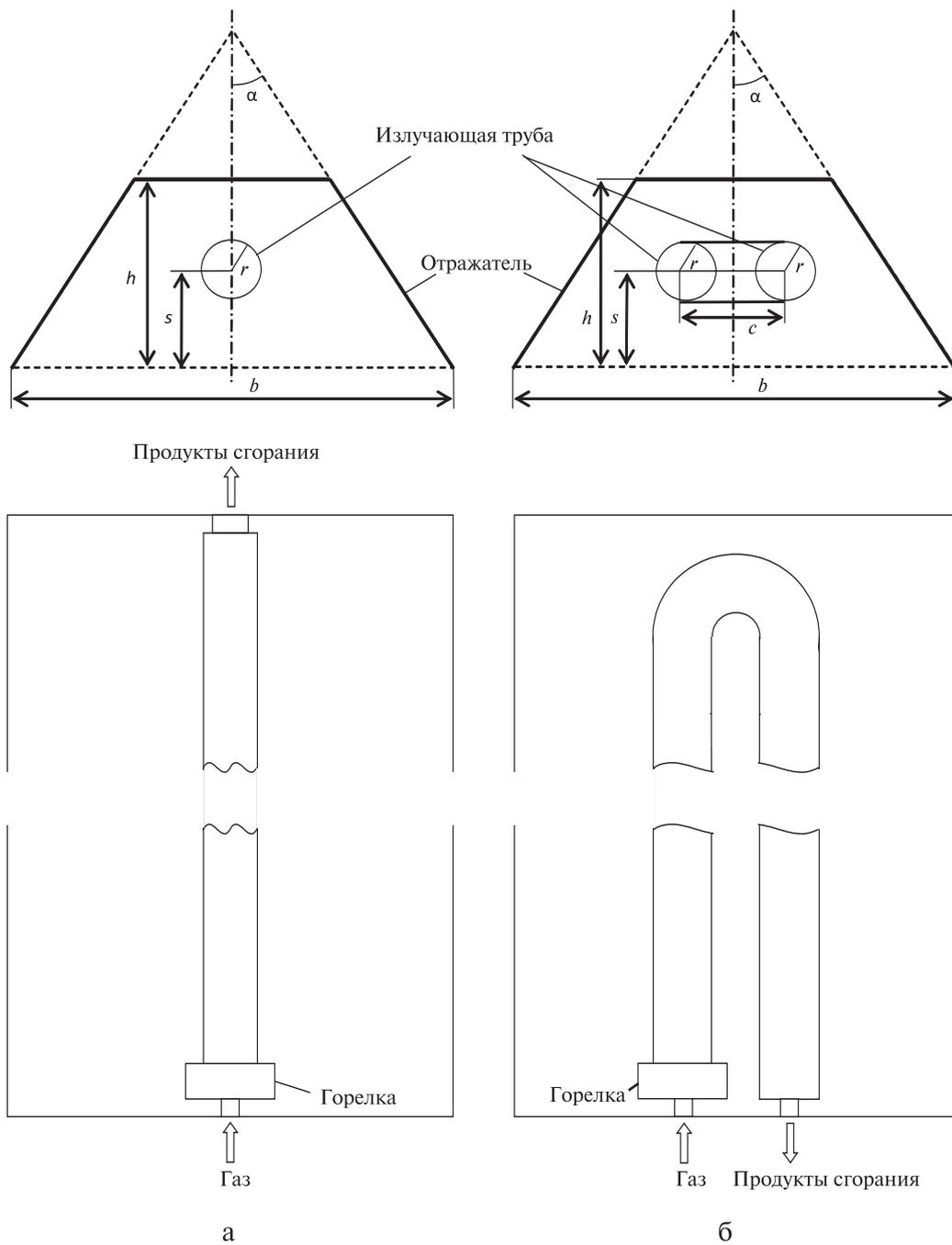


Рисунок 1 Конструктивные параметры темных излучателей линейного (а) и U-образного (б)

При наличии теплоизоляционного слоя на наружной поверхности отражателя дополнительно задаются:

- толщина теплоизоляционного слоя  $\delta_{\text{ти}}$ , м;
- коэффициент теплопроводности материала теплоизоляции  $\lambda_{\text{ти}}$ , Вт/(мК).

Конструктивные параметры, температура излучающей трубы, тепловая мощность и общий КПД излучателя принимаются по паспортным данным, степени черноты – по таблице А.9 (приложение А), коэффициент теплопроводности материала теплоизоляции – по таблице А.10 (приложение А).

7.2.2 Площади поверхностей излучающих труб, отражателя и условной плоской поверхности, замыкающей полость отражателя, рассчитываются по формулам:

$$F_1 = \begin{cases} 2\pi r l & \text{— для линейного излучателя;} \\ 4\pi r l & \text{— для } U \text{ - образного излучателя} \end{cases}; \quad (7.1)$$

$$F_2 = \left( b + 2h \frac{1 - \sin \alpha}{\cos \alpha} \right) l; \quad (7.2)$$

$$F_0 = b l. \quad (7.3)$$

7.2.3 Угловые коэффициенты излучения в полости отражателя рассчитываются по формулам:

$$\varphi_{10} = \frac{1}{\pi} \arctg \frac{b}{2s}; \quad (7.4)$$

$$\varphi_{11} = \begin{cases} 0 & \text{— для линейного излучателя} \\ \frac{1}{\pi} \left( \arcsin \frac{1}{z} - z + \sqrt{z^2 - 1} \right), & \text{где } z = \frac{c}{2r} \text{ — для } U \text{ - образного излучателя} \end{cases}; \quad (7.5)$$

$$\varphi_{12} = 1 - \varphi_{10} - \varphi_{11}; \quad (7.6)$$

$$\varphi_{01} = \varphi_{10} F_1 / F_0; \quad (7.7)$$

$$\varphi_{02} = 1 - \varphi_{01}; \quad (7.8)$$

$$\varphi_{20} = \varphi_{02} F_0 / F_2; \quad (7.9)$$

$$\varphi_{21} = \varphi_{12} F_1 / F_2; \quad (7.10)$$

$$\varphi_{22} = 1 - \varphi_{20} - \varphi_{21}. \quad (7.11)$$

7.2.4 Разрешающие угловые коэффициенты излучения в полости отражателя рассчитываются по формулам:

$$\Phi_{22} = \tilde{\Phi}_{22} / (1 - R_2 \tilde{\Phi}_{22}); \quad (7.12)$$

$$\Phi_{02} = \tilde{\Phi}_{02} / (1 + R_2 \Phi_{22}); \quad (7.13)$$

$$\Phi_{12} = \varphi_{12} (1 + R_2 \Phi_{22}), \quad (7.14)$$

где

$$\tilde{\Phi}_{02} = \varphi_{02} + \varphi_{01} R_1 \varphi_{12}; \quad (7.15)$$

$$\tilde{\Phi}_{22} = \varphi_{22} + \varphi_{21} R_1 \varphi_{12}. \quad (7.16)$$

7.2.5 Приближенное значение температуры внешней поверхности отражателя принимается равным  $T' = 0,55 \cdot T_1$  при наличии теплоизоляции или  $T' = 0,6 \cdot T_1$  при ее отсутствии.

7.2.6 Коэффициент теплопередачи от внутренней поверхности отражателя в окружающую среду рассчитывается по формуле

$$k_T = \frac{1}{\delta_{\text{ти}} / \lambda_{\text{ти}} + 1 / \alpha'}, \quad (7.17)$$

где коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности отражателя  $\alpha'$ , соответствующий температуре  $T'$ , определяется по таблице В.1 (приложение В) с помощью интерполяционной формулы, приведенной в таблице В.2 (приложение В).

7.2.7 Вспомогательные параметры, необходимые для определения температуры внутренней поверхности отражателя, рассчитываются по формулам:

$$A = 0,0176 \cdot \frac{k_T F_2}{a_2}; \quad (7.18)$$

$$B = A t_0 + \frac{a_0 t_0^4 + a_1 t_1^4}{a_2}, \quad (7.19)$$

в которых использованы следующие обозначения:

$$t_0 = T_0 / 1000; \quad t_1 = T_1 / 1000; \quad a_0 = F_0 \Phi_{02} \varepsilon_2; \quad a_1 = \varepsilon_1 F_1 \Phi_{12} \varepsilon_2; \quad a_2 = \varepsilon_2 F_2 (1 - \Phi_{22} \varepsilon_2),$$

7.2.8 Температура внутренней поверхности отражателя  $T_2$  определяется по таблице В.3 (приложение В) с помощью интерполяционной формулы, приведенной в таблице В.4 (приложение В).

### 7.3 Определение мощности излучения и лучистого коэффициента полезного действия излучателя

7.3.1 После определения вспомогательных величин

$$\tilde{q}_1 = \sigma_0 (\varepsilon_1 T_1^4 + R_1 \varphi_{10} T_0^4); \quad (7.20)$$

$$\tilde{q}_2 = \sigma_0 (\varepsilon_2 T_2^4 + R_2 \varphi_{20} T_0^4) \quad (7.21)$$

расчет плотностей эффективных потоков излучающей трубы и отражателя производится по формулам:

$$q_{\text{эф},1} = [\tilde{q}_1 (1 - R_2 \varphi_{22}) + \tilde{q}_2 R_1 \varphi_{12}] / Z; \quad (7.22)$$

$$q_{\text{эф},2} = [\tilde{q}_2 (1 - R_1 \varphi_{11}) + \tilde{q}_1 R_2 \varphi_{21}] / Z, \quad (7.23)$$

где

$$Z = 1 - R_2 (\varphi_{21} R_1 \varphi_{12} + \varphi_{22}).$$

7.3.2 Мощность излучения, равная потоку результирующего излучения на условной поверхности, замыкающей полость отражателя, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{луч}} \equiv Q_{\text{рез},0} = (q_{\text{эф},1} \varphi_{01} + q_{\text{эф},2} \varphi_{02} - \sigma_0 T_0^4) F_0. \quad (7.24)$$

7.3.3 Лучистый КПД излучателя определяется по формуле

$$\eta_{\text{луч}} = Q_{\text{луч}} / Q_{\text{газ}}. \quad (7.25)$$

7.3.4 Примеры расчета теплопроизводительности, мощности излучения и лучистого КПД темных ГИИ приведены в таблицах Б.2 и Б.3 (приложение Б).

### 7.4 Расчет интенсивности теплового облучения в контрольных точках

7.4.1 В качестве исходных данных используются:

- расстояние от контрольной точки до проекции излучателя на контрольную плоскость  $X$ , м;
- высота установки излучателя над контрольной плоскостью  $H$ , м.

7.4.2 Для каждой контрольной точки угол облучения рассчитывается по формуле

$$\theta = \arctg \frac{X}{H}. \quad (7.26)$$

7.4.3 Коэффициенты облучения контрольной точки рассчитываются по формулам:

- для линейного излучателя

$$\varphi_1 = \frac{rH}{X^2 + H^2}; \quad (7.27)$$

- для  $U$ -образного излучателя

$$\Phi_1 = C \frac{rH}{X^2 + H^2}, \quad (7.28)$$

где

$$C = \begin{cases} 2 & \text{при } \theta < \arccos(2r/c) \\ 2 - \sqrt{(c/2r)^2 - 1} \cdot \operatorname{tg}(\theta - \theta_0) & \text{при } \theta \geq \arccos(2r/c) \end{cases};$$

- для условной поверхности, замыкающей полость отражателя,

$$\Phi_2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{X + b/2}{\sqrt{H^2 + (X + b/2)^2}} - \frac{X - b/2}{\sqrt{H^2 + (X - b/2)^2}} \right]. \quad (7.29)$$

7.4.4 Коэффициент, учитывающий экранирующее влияние отражателя, рассчитывается по формуле

$$S = \begin{cases} 1 & \text{при } \theta < \theta_1 \\ (\theta_2 - \theta) / (\theta_2 - \theta_1) & \text{при } \theta_1 \leq \theta < \theta_2, \\ 0 & \text{при } \theta \geq \theta_2 \end{cases}, \quad (7.30)$$

где для линейной излучающей трубы:

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} - (\beta + \gamma); \quad \theta_2 = \frac{\pi}{2} - (\beta - \gamma);$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{2s}{b}; \quad \gamma = \operatorname{arctg} \frac{r}{\sqrt{s^2 + b^2 / 4 - r^2}};$$

для  $U$ -образной излучающей трубы:

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} - (\beta_1 + \gamma_1); \quad \theta_2 = \frac{\pi}{2} - (\beta_2 - \gamma_2);$$

$$\beta_1 = \operatorname{arctg} \frac{2s}{(b-c)}; \quad \gamma_1 = \operatorname{arctg} \frac{r}{\sqrt{s^2 + (b-c)^2 / 4 - r^2}};$$

$$\beta_2 = \operatorname{arctg} \frac{2s}{(b+c)}; \quad \gamma_2 = \operatorname{arctg} \frac{r}{\sqrt{s^2 + (b+c)^2 / 4 - r^2}}.$$

7.4.5 Интенсивность теплового облучения в контрольной точке рассчитывается по формуле

$$q_{\text{пад}} = q_{\text{эф},1} \Phi_1 S + q_{\text{эф},2} (\Phi_2 - \Phi_1 S). \quad (7.31)$$

7.4.6 При наличии нескольких излучателей интенсивность теплового облучения рассчитывается путем суммирования плотностей потоков излучения, падающих от каждого излучателя.

7.4.7 Пример расчета интенсивности теплового облучения при использовании темных ГИИ в помещении для хранения резервных двигателей РЭБ КС приведен в таблице Б.4 (приложение Б).

## **8 Алгоритм расчета облученности помещения при использовании системы лучистого отопления со светлыми излучателями**

### **8.1 Общие положения**

Последовательность расчета:

- определение температуры отражателя;
- определение мощности излучения и лучистого КПД излучателя;
- расчет интенсивности теплового облучения в контрольных точках;
- проверка выполнения условий теплового комфорта.

### **8.2 Определение температуры отражателя**

8.2.1 В качестве исходных данных используются следующие параметры светлого излучателя, показанные на рисунке 2:

- ширина  $a$  и длина  $b$  излучающей поверхности, м;
- высота излучателя  $h$ , м;
- угол раскрытия отражателя  $\alpha$ , рад;
- температура излучающей поверхности  $T_1$ , К;
- степень черноты излучающей керамической поверхности  $\varepsilon_1$ ;
- степень черноты внутренней поверхности отражателя  $\varepsilon_2$ ;
- степень черноты внешней поверхности излучателя  $\varepsilon'$ ;
- тепловая мощность излучателя  $Q_{\text{газ}}$ , Вт;
- температура окружающей среды  $T_0$ , К.

Конструктивные параметры, температура излучающей поверхности и тепловая мощность принимаются по паспортным данным, а степени черноты – по таблице А.9 (приложение А).

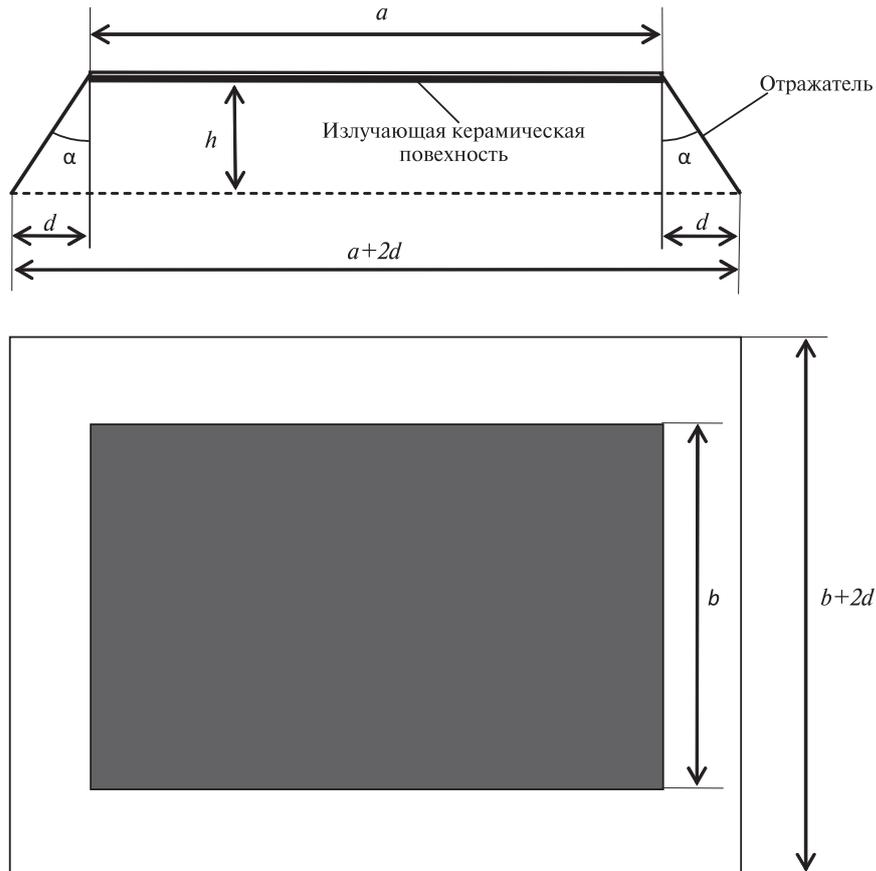


Рисунок 2 – Конструктивные параметры светлого излучателя

8.2.2 Площади излучающей поверхности, отражателя и условной плоской поверхности, замыкающей полость отражателя, рассчитываются по формулам:

$$F_1 = ab; \quad (8.1)$$

$$F_2 = 2h(a + b + 2d) / \cos\alpha; \quad (8.2)$$

$$F_0 = (a + 2d)(b + 2d), \quad (8.3)$$

где  $d = h \cdot \operatorname{tg}\alpha$ .

8.2.3 Угловой коэффициент излучения с излучающей поверхности на условную поверхность, замыкающую полость отражателя, рассчитывается по формуле

$$\varphi_{10} = \frac{1}{2}(Z - \sqrt{Z^2 - 4F_0/F_1}), \quad (8.4)$$

где

$$Z = 1 + (F_0 + \pi h^2) / F_1. \quad (8.5)$$

Угловой коэффициент с излучающей поверхности на отражатель рассчитывается по формуле

$$\varphi_{12} = 1 - \varphi_{10}. \quad (8.6)$$

Расчет остальных угловых коэффициентов излучения производится по формулам (7.7)–(7.11).

8.2.4 Дальнейший расчет производится по формулам (7.12)–(7.25) со следующими изменениями:

- приближенное значение температуры внешней поверхности излучателя принимается равным  $T' = 0,3 \cdot T_1$  при наличии теплоизоляции или  $T' = 0,35 \cdot T_1$  при ее отсутствии;
- в формуле (7.18) площадь  $F_2$  заменяется на  $F_1 + F_2$ .

### 8.3 Определение мощности излучения и коэффициента полезного действия излучателя

8.3.1 После определения вспомогательных величин  $\tilde{q}$  и  $\tilde{q}_2$  по формулам (7.20) и (7.21) расчет плотностей эффективных потоков излучающей поверхности и отражателя производится по формулам (7.22), (7.23) при  $\varphi_{11} = 0$ .

8.3.2 Мощность излучения и лучистый КПД излучателя определяются по формулам (7.24) и (7.25).

8.3.3 Пример расчета мощности излучения и лучистого КПД светлого ГИИ приведен в таблице Б.5 (приложение Б).

### 8.4 Расчет интенсивности теплового облучения в контрольных точках

8.4.1 В качестве дополнительных исходных данных используются величины, показанные на рисунке 3:

- высота установки излучателя над контрольной плоскостью  $H$ , м;
- расстояние от проекции излучателя на контрольную плоскость до контрольной точки  $X$ , м;
- угол облучения, отсчитываемый от вертикальной оси  $\theta = \arctg(X/H)$ ;
- угол наклона излучателя  $\alpha'$ .

8.4.2 При горизонтальном расположении излучателя ( $\alpha_0 = 0$ , рисунок 3а) коэффициенты облучения контрольной точки рассчитываются по следующим формулам:

а) при  $X = 0$ :

- для излучающей поверхности

$$\varphi_1 = \frac{1}{1 + \pi H^2 / F_1}; \quad (8.7)$$

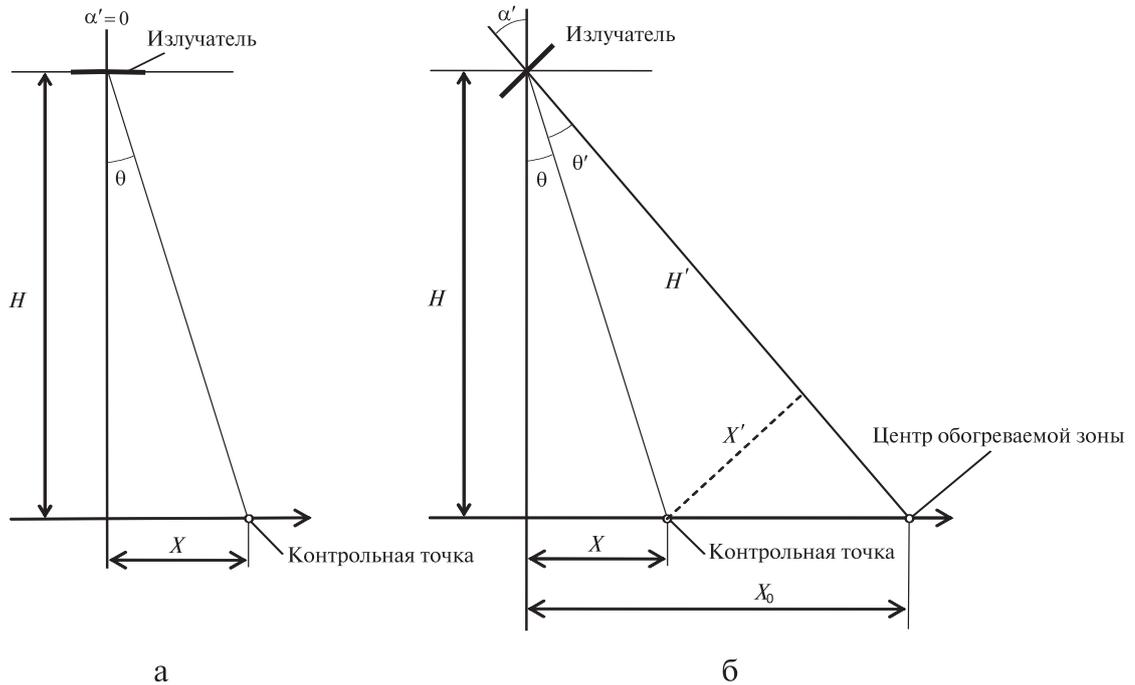


Рисунок 3 – К расчету коэффициентов облучения при горизонтальном (а) и наклонном (б) расположении излучателя

- для условной поверхности, замыкающей полость отражателя

$$\Phi_2 = \frac{1}{1 + \pi H^2 / F_0}; \quad (8.8)$$

б) при  $X > 0$ :

- для излучающей поверхности

$$\Phi_1 = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{A - B_1}{\sqrt{A^2 - 2B_1}} \right); \quad (8.9)$$

- для условной поверхности, замыкающей полость отражателя

$$\Phi_2 = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{A - B_2}{\sqrt{A^2 - 2B_2}} \right). \quad (8.10)$$

В формулах (8.14), (8.15) использованы следующие обозначения

$$A = 1 + (H/X)^2; \quad B_1 = 2F_1 / (\pi X^2); \quad B_2 = 2F_0 / (\pi X^2). \quad (8.11)$$

8.4.3 Коэффициент, учитывающий экранирующее влияние отражателя, рассчитывается по формуле

$$S = \begin{cases} 1 & \text{при } X < X_1 \\ (X_2 - X)/(X_2 - X_1) & \text{при } X_1 \leq X < X_2, \\ 0 & \text{при } X \geq X_2 \end{cases} \quad (8.12)$$

где

$$X_1 = H \operatorname{tg} \alpha; \quad X_2 = H \frac{\sqrt{F_0} + \sqrt{F_1}}{h \sqrt{\pi}}. \quad (8.13)$$

8.4.4 При наклонном расположении излучателя ( $\alpha' > 0$ , рисунок 3б) предварительно определяются:

- расстояние от проекции излучателя на контрольную плоскость до центра обогреваемой зоны

$$X_0 = H \operatorname{tg} \alpha'; \quad (8.14)$$

- угол облучения, отсчитываемый от нормали к излучающей поверхности

$$\theta' = |\alpha' - \theta|; \quad (8.15)$$

- вспомогательные величины:

$$H' = H \frac{\cos \theta'}{\cos \theta}; \quad X' = H \frac{\sin \theta'}{\cos \theta}. \quad (8.16)$$

После этого коэффициенты  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  и  $S$  рассчитываются по формулам (8.17)–(8.13) при замене  $H$  и  $X$  на  $H'$  и  $X'$  соответственно.

8.4.5 Интенсивность теплового облучения в контрольной точке рассчитывается по формуле

$$q_{\text{обл}} = \left[ q_{\text{эф},1} \varphi_1 S + q_{\text{эф},2} (\varphi_2 - \varphi_1 S) \right] \cos \alpha'. \quad (8.17)$$

8.4.6 При наличии нескольких излучателей интенсивность теплового облучения рассчитывается путем суммирования плотностей потоков излучения, падающих от каждого излучателя.

## 9 Проверка выполнения условий теплового комфорта

9.1 Для проверки выполнения условий теплового комфорта следует рассчитать:

- интенсивность теплового облучения  $q_{\text{обл},i}$  ( $i = 1, \dots, M$ ) в контрольных точках, расположенных под каждым излучателем; между излучателями на равных расстояниях от них; у стен помещения;

- максимальное значение интенсивности теплового облучения

$$q_{\text{обл}}^{\text{max}} = \max_i q_{\text{обл},i}; \quad (9.1)$$

- минимальное значение интенсивности теплового облучения

$$q_{\text{обл}}^{\text{min}} = \min_i q_{\text{обл},i}; \quad (9.2)$$

- неравномерность теплового облучения

$$K = 1 - q_{\text{обл}}^{\text{min}} / q_{\text{обл}}^{\text{max}}. \quad (9.3)$$

9.2 Схему размещения излучателей следует выбирать так, чтобы выполнялись условия теплового комфорта:

- интенсивность теплового облучения не превосходила максимально допустимого значения  $q_{\text{доп}}$ :

$$q_{\text{обл}}^{\text{max}} < q_{\text{доп}}; \quad (9.4)$$

- неравномерность теплового облучения была минимальной и не превышала допустимого значения  $K_{\text{доп}}$ :

$$K = \min < K_{\text{доп}}. \quad (9.5)$$

9.3 Допустимые значения интенсивности теплового облучения работающих людей приведены в таблице А.11 (приложение А).

9.4 Пример проверки выполнения условий теплового комфорта при использовании системы лучистого отопления с темными ГИИ приведен в таблице Б.4 (приложение Б).

## 10 Алгоритм поиска оптимального варианта системы лучистого отопления

### 10.1 Постановка задачи оптимизации

Для заданного типа системы лучистого отопления (с темными или светлыми ГИИ), определенного техническим заданием на проектирование, оптимальным считается такой ее вариант, для которого:

- тепловая нагрузка, найденная в разделе 6, реализуется при минимальном количестве излучателей;
- выполняются условия теплового комфорта, сформулированные в разделе 8.

### 10.2 Алгоритм расчета оптимального размещения излучателей

10.2.1 Выбираются излучатели с максимальной теплопроизводительностью, так, чтобы заданная тепловая нагрузка на систему отопления могла быть реализована при минимальном количестве излучателей.

10.2.2 По формуле (9.1) производится расчет максимальной интенсивности теплового облучения при размещении излучателей на максимально возможной высоте под потолком помещения.

10.2.3 Если неравенство (9.4) выполняется, производится переход к пункту 10.2.4. Если это неравенство не выполняется, выбираются излучатели с меньшей теплопроизводительностью, а их количество увеличивается так, чтобы суммарная теплопроизводительность была достаточна для реализации заданной тепловой нагрузки на систему отопления, и производится возврат к пункту 10.2.2.

10.2.4 По формуле (9.3) определяется неравномерность теплового облучения и производится проверка условия (9.5). Для выполнения этого условия следует провести несколько вариантов расчета, увеличивая расстояния между излучателями и/или уменьшая высоту установки излучателей вблизи стен.

10.2.5 Для проведения многовариантных расчетов при решении практических задач необходима реализация описанного алгоритма в виде компьютерной программы.

## Приложение А

(справочное)

## Справочные таблицы

Таблица А.1 – Производственные и складские помещения объектов магистральных газопроводов категорий В2–В4, Г, Д – по СТО Газпром 2-3.5-051

Наименование помещения	Категория	Наименование помещения	Категория
Вентиляционная приточная камера КЦ	Д	<i>Службно-эксплуатационный и ремонтный блок:</i>	
Циркуляционная водяная насосная КЦ	Д	- ремонтно-механическое отделение	В3
Машинный зал дизельной электростанции	Г	- сварочный пост	Г
Компрессорная сжатого воздуха	Д	- инструментальная	Д
Регенерационная фильтров склада ГСМ	Д	- кузнечное отделение	Г
Электрощитовая склада ГСМ	В4	- пожарный пост	Д
Котельный зал, помещения дымососов и деаэраторов	Г	- помещение хранения двигателей и запчастей	В3
Химводоочистка и утилизационная насосная	Д	- приточная венткамера	Д
Станция пожаротушения	Д	- материально-технический склад сгораемых грузов	В2
Водяная насосная над скважиной с приемным колодцем	Д	- помещение комплектных трансформаторных подстанций	Д
Помещение операторной ГРС и ГИС	В4	- электрощитовая	В4
Помещение отопительных агрегатов ГРС и ГИС	Г	- прачечная с кладовыми	В3
Помещение вторичных приборов ГИС	Д	- столярная мастерская	В2
<i>Производственно-энергетический блок:</i>		- мастерская КИП	В3
- помещение КТП	Д	- лаборатория КИП	В3
- электрощитовая	В4	- автоматическая телефонная станция	В2
- помещение стационарных аккумуляторных батарей	Д	- выпрямительная	В2
- кислотная	Д	- линейно-аппаратный цех	В2
- дистилляторная	Д	- лаборатория связи	В3
- вентиляционная приточная камера при аккумуляторной	Д	- студия совещаний	В2
- аппаратная	В2	- химлаборатория	В3
- операторная	В4	- служба связи и телемеханики	В3
- аппаратная телемеханики	В2	- измерительная и регулировочная	В3

## Окончание таблицы А.1

Наименование помещения	Категория	Наименование помещения	Категория
<i>Складские помещения</i>		<i>Очистные сооружения бытовых сточных вод:</i>	
- для хранения сгораемых грузов	В2	- электролизная	Д
- для хранения несгораемых грузов в несгораемой упаковке	Д	- насосная перекачки хозяйственно-бытовых вод	Д
- для хранения баллонов с негорючими газами	Д	Мойка автомашин с очистными сооружениями	Д
- для хранения реагентов ХВО	Д		

Таблица А.2 – Допустимые температуры воздуха в рабочей зоне производственных помещений в холодный период года – по ГОСТ 12.1.005 и СанПиН 2.2.4.548-96 [11]

Категория работ по уровню энергозатрат*, Вт	Допустимая температура, °С,			
	на постоянных рабочих местах		на непостоянных рабочих местах	
	min	max	min	max
Легкая – Ia (до 139)	21	25	18	26
Легкая – Ib (140–174)	20	24	17	25
Средней тяжести – IIa (175–232)	17	23	15	24
Средней тяжести – IIб (233–290)	15	22	13	23
Тяжелая – III (более 290)	13	21	12	20

\* Определение работ различных категорий приведено в ГОСТ 12.1.005 (приложение А) и СанПиН 2.2.4.548-96 [11] (приложение 1).

Таблица А.3 – Допустимые температуры воздуха в обслуживаемой зоне общественных помещений в холодный период года – по ГОСТ 30494

Категория* помещения	Допустимая температура, °С	
	min	max
1	18	24
2	18	23
3а	19	23
3б	12	17
3в	16	22
4	15	21
5	20	24
6	14	20

\* Определение категорий помещений приведено в ГОСТ 30494 (пункт 2).

Таблица А.4 – Расчетные температуры воздуха в некоторых производственных помещениях

Помещение	Расчетная температура воздуха, °С	Нормативный документ
Помещения компрессорных станций		
Канализационные и водопроводные насосные станции КС	10	Пункт 12.1.4 ВРД 39-1.8-055-2002 [6]
Помещения котельных		
Котельный зал*	12 / 5	СНиП II-35-76, приложение 11 [12]
Насосная станция*	15 / 5	СНиП II-35-76, приложение 11 [12]
Помещение водоподготовки	16	СНиП II-35-76, приложение 11 [12]
Помещение щитов управления	18	СНиП II-35-76, приложение 11 [12]
*В числителе – с постоянным обслуживающим персоналом, в знаменателе – без постоянного обслуживающего персонала.		

Таблица А.5 – Поправочный коэффициент  $\beta'_{нс}$ , учитывающий увеличение потерь теплоты через наружные стены в зависимости от ориентации ограждения по сторонам света и углового расположения помещения, – по разделу 7.2 монографии [13]

Ориентация ограждения	Коэффициент $\beta'_{нс}$ при числе наружных стен	
	1	2 и более
Северная	1,1	1,15
Северо-восточная	1,1	1,15
Восточная	1,1	1,15
Юго-восточная	1,05	1,1
Южная	1	1,05
Юго-западная	1	1,05
Западная	1,05	1,1
Северо-западная	1,1	1,15

Таблица А.6 – Поправочные коэффициенты  $\beta'_{дв}$ ,  $\beta'_{вр}$ , учитывающие врывание холодного воздуха через наружные двери или ворота в помещение высотой  $H$ , м, не оборудованное воздушно-тепловыми завесами, – по разделу 7.2 монографии [13]

Конструкция	$\beta'_{дв}, \beta'_{вр}$
Тройная дверь с двумя тамбурами	$1,20 \cdot H$
Двойная дверь с тамбуром	$1,27 \cdot H$
Двойная дверь без тамбура	$1,34 \cdot H$
Одинарная дверь	$1,22 \cdot H$
Ворота с тамбуром	2
Ворота без тамбура	4

Таблица А.7 – Нормируемая воздухопроницаемость ограждающих конструкций производственных помещений  $g_B$  – по таблице 11 СНиП 23-02-2003 [9] – и интенсивность потерь тепла за счет инфильтрации воздуха  $\alpha_B$  по формуле (6.6)

Ограждающие конструкции	$g_B$ , кг/( $m^2 \cdot ч$ ), не более	$\alpha_B$ , Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ ), не более
Наружные стены, перекрытия и покрытия	1,0	0,28
Стыки между панелями наружных стен	1,0*	0,28**
Окна и фонари зданий с кондиционированием воздуха	6,0	1,67
Окна, двери и ворота	8,0	2,22
Фонари	10,0	2,78
* В кг/( $m \cdot ч$ ).		
** В Вт/( $m \cdot ^\circ C$ ).		

Таблица А.8 – Полные тепловые потоки, выделяемые работающими людьми, Вт – по подразделу 2.3 справочника [10]

Категория работы	Полные тепловые потоки, Вт, при температуре воздуха в помещении, $^{\circ}C$			
	10	15	20	25
Легкая	180	160	150	145
Средней тяжести	215	210	205	200
Тяжелая	290			

Таблица А.9 – Степени черноты излучающих и отражающих поверхностей – по справочникам [14, 15] и монографии [16]

Материал и состояние поверхности		Степень черноты
Алюминий	Слабоокисленная	0,09
	Сильноокисленная	0,2
Нержавеющая сталь	Гладкая неокисленная	0,16
	Гладкая слабоокисленная	0,5
Жаропрочная сталь		0,8
Керамическая насадка		0,85

Таблица А.10 – Коэффициенты теплопроводности материалов, используемых для теплоизоляционного покрытия отражателей – по приложению Д СП 23-101-2004 [8]

Теплоизоляционный материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(мК)
Пенополистирол	150	0,05
	100	0,041
Пенопласт	125	0,052
	100	0,041
Пенополиуретан	80	0,041
	60	0,035
	40	0,029
Маты минераловатные на синтетическом связующем	225	0,054
	175	0,052
	125	0,049
	75	0,047
Маты минераловатные прошивные	100–125	0,044
Плиты из стеклянного волокна на синтетическом связующем	45	0,047
Полосы из стеклянного волокна прошивные	150	0,061

Таблица А.11 – Допустимые значения интенсивности теплового облучения – по ГОСТ 12.1.005 и СанПиН 2.2.4.548-96 [11]

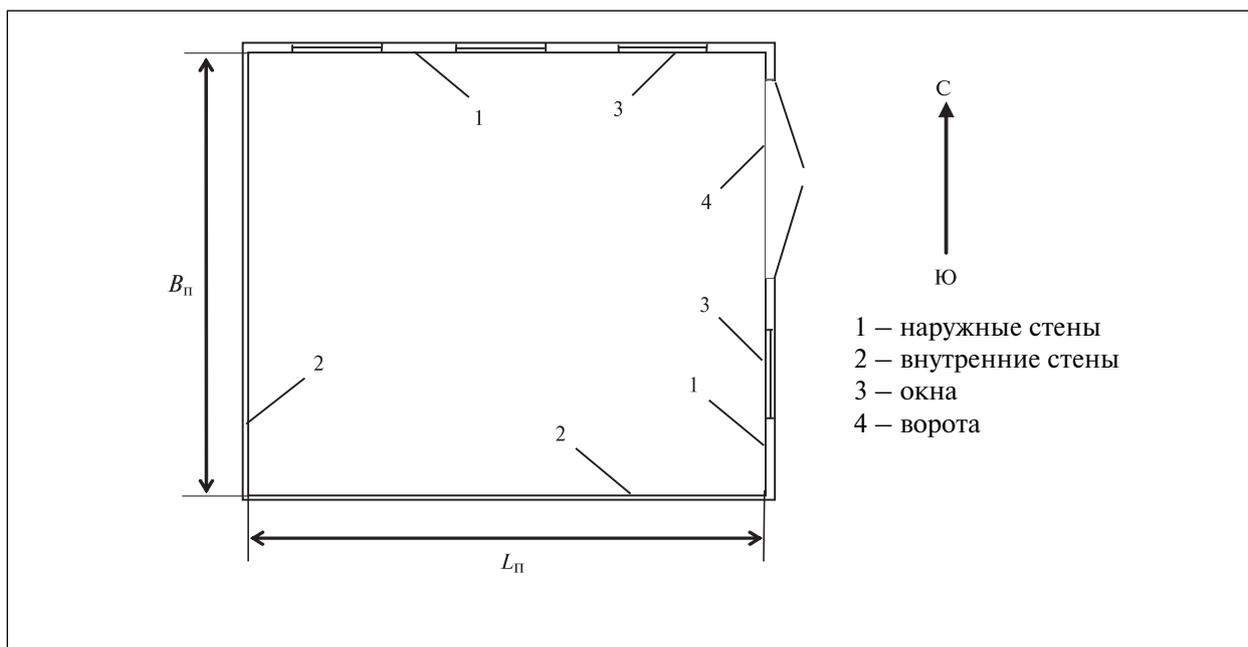
Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более
<b>Система лучистого отопления с темными ГИИ</b>	
50 и более	35
25–50	70
Не более 25	100
<b>Система лучистого отопления со светлыми ГИИ</b>	
Не более 25*	140

\*При обязательном использовании средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

**Приложение Б**  
(рекомендуемое)

**Примеры расчетов**

Таблица Б.1 – Пример расчета тепловой нагрузки на систему лучистого отопления помещения для хранения резервных двигателей РЭБ КС



Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
<i>Потери теплоты через ограждающие конструкции</i>				
Расчетная температура наружного воздуха	$t_n$	°С	Таблица 1 СНиП 23-01-99 [7]	– 44
Категория работ на непостоянных рабочих местах	–	–	Исходные данные	Па
Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_v$	°С	Пункт 6.1.1	11
Температура воздуха в двух соседних помещениях, отделенных внутренними стенами	$t_x$	°С	Исходные данные	11
Длина помещения	$L_{п}$	м		12,7
Ширина помещения	$B_{п}$	м		11,3
Высота помещения	$H_{п}$	м		5,5
Ширина оконного проема	$B_{ок}$	м		1,5
Высота оконного проема	$H_{ок}$	м		1,3
Площадь наружных стен	$F_{нс}$	м <sup>2</sup>		$F_{нс} = (L_{п} + B_{п}) H_{п}$
Площадь оконного проема	$F_{ок}$	м <sup>2</sup>	$B_{ок} \cdot H_{ок}$	1,95

Продолжение таблицы Б.1

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
Число оконных проемов	$n_{\text{ок}}$	—	Исходные данные	4
Суммарная площадь оконных проемов	$\widehat{F}_{\text{ок}}$	м <sup>2</sup>	$n_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}}$	7,8
Ширина ворот	$B_{\text{вр}}$	м	Исходные данные	3,8
Высота ворот	$H_{\text{вр}}$	м		3
Площадь ворот	$F'_{\text{вр}}$	м <sup>2</sup>	$B_{\text{вр}} \cdot H_{\text{вр}}$	11,4
Площадь наружных стен (без оконных проемов и ворот)	$F'_{\text{нс}}$	м <sup>2</sup>	$F_{\text{нс}} - \widehat{F}_{\text{ок}} - F'_{\text{вр}}$	112,8
Сопrotивление теплопередаче стеновых сэндвич-панелей толщиной 200 мм	$R'_{\text{нс}}$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	Паспортные данные	4,2
Поправочный коэффициент	$\beta'_{\text{нс}}$	—	Таблица А.4 (приложение А)	1,15
Сопrotивление теплопередаче ворот	$R'_{\text{вр}}$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	Пункт 6.1.3	2,5
Поправочный коэффициент	$\beta'_{\text{вр}}$	—	Пункт 6.1.5*	1
Потери теплоты через стены и ворота	$Q'$	Вт	Формула (6.2)	1949
Площадь потолочного перекрытия	$F''$	м <sup>2</sup>	$L_{\text{п}} \cdot B_{\text{п}}$	143,5
Сопrotивление теплопередаче кровельных сэндвич-панелей толщиной 250 мм	$R''$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	Паспортные данные	5,2
Потери теплоты через потолочное перекрытие	$Q''$	Вт	Формула (6.3)	1518
Площади расчетных зон при определении приведенного сопротивления теплопередаче пола на грунте	$F'''_{\text{I}}$	м <sup>2</sup>	$2(L_{\text{п}} + B_{\text{п}} - 2)$	44
	$F'''_{\text{II}}$	м <sup>2</sup>	$2(L_{\text{п}} + B_{\text{п}} - 6)$	36
	$F'''_{\text{III}}$	м <sup>2</sup>	$2(L_{\text{п}} + B_{\text{п}} - 10)$	28
	$F'''_{\text{IV}}$	м <sup>2</sup>	$L_{\text{п}}B_{\text{п}} - F'''_{\text{I}} - F'''_{\text{II}} - F'''_{\text{III}}$	35,5
Зональные значения приведенного сопротивления теплопередаче неутепленного пола на грунте	$R_{\text{I}}$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	Приложение Я.2 СП 23-101-2004 [8]	2,1
	$R_{\text{II}}$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт		4,3
	$R_{\text{III}}$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт		8,6
	$R_{\text{IV}}$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт		14,2
Толщина утепляющего слоя пола на грунте (керамзитовый гравий)	$\delta_{\text{yc}}$	м	Исходные данные	0,24
Кoeffициент теплопроводности керамзитового гравия плотностью 400 кг/м <sup>3</sup>	$\lambda_{\text{yc}}$	Вт/(м·°C)	Приложение Д СП 23-101-2004 [8]	0,12
Приведенное сопротивление теплопередаче утепляющего слоя	$R_{\text{yc}}$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	$\delta_{\text{yc}}/\lambda_{\text{yc}}$	2

## Окончание таблицы Б.1

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
Зональные значения приведенного сопротивления теплопередаче утепленного пола на грунте	$R''_I$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	$R_I + R_{yc}$	4,1
	$R''_{II}$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	$R_{II} + R_{yc}$	6,3
	$R''_{III}$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	$R_{III} + R_{yc}$	10,6
	$R''_{IV}$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	$R_{IV} + R_{yc}$	16,2
Потери теплоты через пол	$Q''$	Вт	Формула (6.4)	1170
Сопротивление теплопередаче окон (двойное остекление в спаренных переплетах)	$\hat{R}_{ок}$	(м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	Приложение Л СП 23-101-2004 [8]	0,4
Отношение площади остекления к площади заполнения светового проема	$\hat{\beta}_{ок}$	—	Исходные данные	0,8
Потери теплоты через окна	$\hat{Q}$	Вт	Формула (6.5)	1100
Потери теплоты через ограждающие конструкции	$Q_1^-$	Вт	Формула (6.1)	5737
<i>Потери теплоты за счет инфильтрации</i>				
Интенсивность потерь тепла за счет инфильтрации воздуха через оконные проемы	$\alpha_{в,ок}$	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	Таблица А.4 (приложение А)	2,22
Интенсивность потерь тепла за счет инфильтрации воздуха через ворота	$\alpha_{в,вр}$	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)		2,22
Суммарная длина стыков между панелями наружных стен при ширине панели 2 м	$F_{ст}$	м	Исходные данные	110
Интенсивность потерь тепла за счет инфильтрации воздуха через стыки между панелями наружных стен	$\alpha_{в,ст}$	Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	Таблица А.4 (приложение А)	0,28
Потери теплоты за счет инфильтрации наружного воздуха	$Q_2^-$	Вт	Формула (6.7)	4038
<i>Тепловая нагрузка на систему лучистого отопления</i>				
Тепловая нагрузка на систему лучистого отопления	$Q_{сло}$	Вт	Формула (6.10)**	9775***
<p>* Ворота оборудованы воздушно-тепловой завесой.</p> <p>**В рассматриваемом случае в формуле (6.10):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- потери тепла на нагревание материалов, а также поступления теплоты от оборудования и работающих электродвигателей равны нулю по производственным условиям;</li> <li>- поступлениями теплоты от искусственного освещения, солнечного освещения и находящихся в помещении людей (при отсутствии постоянных рабочих мест) можно пренебречь.</li> </ul> <p>*** Уменьшение тепловой потребности помещения по сравнению со случаем применения системы воздушного отопления, рассмотренного в СТО Газпром 2-1.9-362, обусловлено уменьшением расчетной температуры внутреннего воздуха и отсутствием перегрева верхней зоны.</p>				

Таблица Б.2 – Пример расчета мощности излучения и лучистого КПД темного линейного ГИИ тепловой мощностью 11 кВт

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
<i>Конструктивные параметры</i>				
Длина излучателя	$l$	м	Исходные данные	10
Ширина излучателя	$b$	м		0,18
Высота излучателя	$h$	м		0,12
Угол раскрытия отражателя	$\alpha$	рад (град.)		0,35 (20)
Радиус излучающей трубы	$r$	м		0,04
Расстояние от оси излучающей трубы до плоскости, замыкающей полость отражателя	$s$	м		0,05
<i>Теплофизические параметры</i>				
Температура излучающей трубы	$T_1$	К	Исходные данные	600
Толщина теплоизоляционного слоя	$\delta_{ти}$	м		0
Температура помещения	$T_0$	К		284
Степень черноты излучающей трубы	$\varepsilon_1$	—	Таблица А.8 (приложение А)	0,8
Степень черноты отражателя (алюминиевый лист сильно окисленный)	$\varepsilon_2, \varepsilon'$	—		0,2
Тепловая мощность излучателя	$Q_{газ}$	кВт	Исходные данные	11
Общий КПД излучателя	$\eta_{общ}$	—	Исходные данные	0,92
<i>Расчет температуры отражателя</i>				
Площадь поверхности излучающей трубы	$F_1$	м <sup>2</sup>	Формула (7.1)	2,51
Площадь поверхности отражателя	$F_2$	м <sup>2</sup>	Формула (7.2)	3,48
Площадь условной поверхности, замыкающей полость отражателя	$F_0$	м <sup>2</sup>	Формула (7.3)	1,80
Угловые коэффициенты излучения в полости отражателя	$\varphi_{10}$	—	Формула (7.4)	0,3386
	$\varphi_{11}$	—	Формула (7.5)	0
	$\varphi_{12}$	—	Формула (7.6)	0,6614
	$\varphi_{01}$	—	Формула (7.7)	0,4728
	$\varphi_{02}$	—	Формула (7.8)	0,5772
	$\varphi_{20}$	—	Формула (7.9)	0,2727
	$\varphi_{21}$	—	Формула (7.10)	0,4776
	$\varphi_{22}$	—	Формула (7.11)	0,2497

## Окончание таблицы Б.2

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
Вспомогательные коэффициенты	$\tilde{\Phi}_{02}$	—	Формула (7.15)	0,5898
	$\tilde{\Phi}_{22}$	—	Формула (7.16)	0,3129
Разрешающие угловые коэффициенты излучения в полости отражателя	$\Phi_{22}$	—	Формула (7.12)	0,4174
	$\Phi_{02}$	—	Формула (7.13)	0,7867
	$\Phi_{12}$	—	Формула (7.14)	0,8823
Приближенное значение температуры внешней поверхности отражателя	$T'$	К	Пункт 7.1.5	360
Суммарный коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности отражателя при температуре	$\alpha'$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Таблица В.1 (приложение В)	10,2
Коэффициент теплопередачи от внутренней поверхности отражателя в окружающую среду	$k_T$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Формула (7.17) при $\delta_{ти} = 0$	10,2
Вспомогательные параметры	$A$	—	Формула (7.18)	0,979
	$B$	—	Формула (7.19)	0,353
Температура внутренней поверхности отражателя	$T_2$	К	Таблица В.3* (приложение В)	346,0
Расчет мощности излучения, теплопроизводительности и лучистого КПД				
Вспомогательные величины	$\tilde{q}_1$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.20)	5903,6
	$\tilde{q}_2$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.21)	243,0
Плотности потоков эффективного излучения	$q_{эф.1}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.22)	6344,5
	$q_{эф.2}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.23)	3333,0
Теплопроизводительность излучателя	$Q_{изл}$	Вт	$Q_{газ} \cdot \eta_{общ}$	10120
Мощность излучения	$Q_{луч}$	Вт	Формула (7.24)	7898
Лучистый КПД излучателя	$\eta_{изл}$	%	Формула (7.25)	71,8
* Пример использования таблицы В.3 (приложение В) для расчета температуры $T_2$ приведен в таблице В.4 (приложение В).				

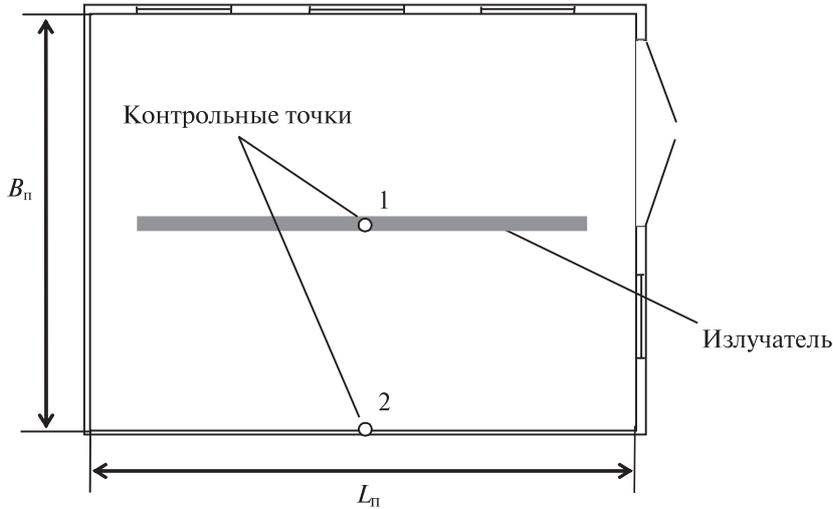
Таблица Б.3 – Пример расчета мощности излучения и лучистого КПД темного линейного ГИИ тепловой мощностью 7 кВт

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
<i>Конструктивные параметры</i>				
Длина излучателя	$l$	м	Исходные данные	10
Ширина излучателя	$b$	м		0,12
Высота излучателя	$h$	м		0,10
Угол раскрытия отражателя	$\alpha$	рад (град.)		0,35 (20)
Радиус излучающей трубы	$r$	м		0,027
Расстояние от оси излучающей трубы до плоскости, замыкающей полость отражателя	$s$	м		0,05
<i>Теплофизические параметры</i>				
Температура излучающей трубы	$T_1$	К	Исходные данные	600
Толщина теплоизоляционного слоя	$\delta_{ти}$	м		0
Температура помещения	$T_0$	К		284
Степень черноты излучающей трубы	$\varepsilon_1$	—	Таблица А.8 (приложение А)	0,8
Степень черноты отражателя (алюминиевый лист сильно окисленный)	$\varepsilon_2, \varepsilon'$	—		0,2
Тепловая мощность излучателя	$Q_{газ}$	кВт	Исходные данные	11
Общий КПД излучателя	$\eta_{общ}$	—	Исходные данные	0,92
<i>Расчет температуры отражателя</i>				
Площадь поверхности излучающей трубы	$F_1$	м <sup>2</sup>	Формула (7.1)	1,70
Площадь поверхности отражателя	$F_2$	м <sup>2</sup>	Формула (7.2)	2,60
Площадь условной поверхности, замыкающей полость отражателя	$F_0$	м <sup>2</sup>	Формула (7.3)	1,20
Угловые коэффициенты излучения в полости отражателя	$\varphi_{10}$	—	Формула (7.4)	0,2789
	$\varphi_{11}$	—	Формула (7.5)	0
	$\varphi_{12}$	—	Формула (7.6)	0,7211
	$\varphi_{01}$	—	Формула (7.7)	0,3942
	$\varphi_{02}$	—	Формула (7.8)	0,6058
	$\varphi_{20}$	—	Формула (7.9)	0,2795
	$\varphi_{21}$	—	Формула (7.10)	0,4705
	$\varphi_{22}$	—	Формула (7.11)	0,2500

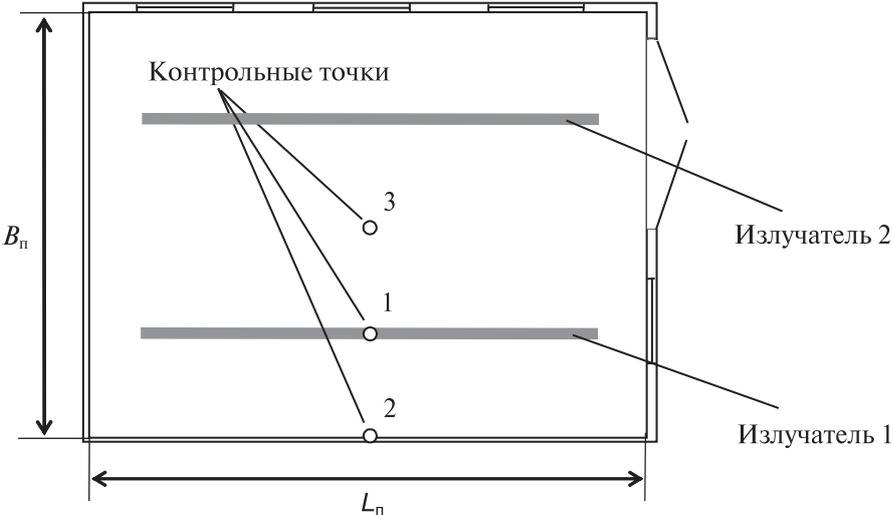
## Окончание таблицы Б.3

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
Вспомогательные коэффициенты	$\tilde{\Phi}_{02}$	—	Формула (7.15)	0,6626
	$\tilde{\Phi}_{22}$	—	Формула (7.16)	0,3179
Разрешающие угловые коэффициенты излучения в полости отражателя	$\Phi_{22}$	—	Формула (7.12)	0,4262
	$\Phi_{02}$	—	Формула (7.13)	0,8886
	$\Phi_{12}$	—	Формула (7.14)	0,9670
Приближенное значение температуры внешней поверхности отражателя	$T'$	К	Пункт 7.1.5	360
Суммарный коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности отражателя при температуре $T'$	$\alpha'$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Таблица В.1 (приложение В)	10,2
Коэффициент теплопередачи от внутренней поверхности отражателя в окружающую среду	$k_T$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Формула (7.17) при $\delta_{ти} = 0$	10,2
Вспомогательные параметры	$A$	—	Формула (7.18)	0,640
	$B$	—	Формула (7.19)	0,256
Температура внутренней поверхности отражателя	$T_2$	К	Таблица В.3* (приложение В)	348,5
<i>Расчет мощности излучения, теплопроизводительности и лучистого КПД</i>				
Вспомогательные величины	$\tilde{q}_1$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.20)	5899,2
	$\tilde{q}_2$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.21)	249,8
Плотности потоков эффективного излучения	$q_{эф.1}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.22)	6377,0
	$q_{эф.2}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.23)	3312,3
Теплопроизводительность излучателя	$Q_{изл}$	Вт	$Q_{газ} \cdot \eta_{общ}$	6440
Мощность излучения	$Q_{луч}$	Вт	Формула (7.24)	4982
Лучистый КПД излучателя	$\eta_{изл}$	%	Формула (7.25)	71,2
* Пример использования таблицы В.3 (приложение В) для расчета температуры $T_2$ приведен в таблице В.4 (приложение В).				

Таблица Б.4 – Пример расчета интенсивности теплового облучения при использовании темных линейных ГИИ в помещении для хранения резервных двигателей РЭБ КС

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
Максимально допустимая интенсивность теплового облучения	$q_{\text{доп}}$	Вт/м <sup>2</sup>	Таблица А.10 (приложение А)	100
Допустимая неравномерность теплового облучения	$K$	–	Исходные данные	0,5
Длина помещения	$L_{\text{п}}$	м	Таблица Б.1 (приложение Б)	12,7
Ширина помещения	$B_{\text{п}}$	м		11,3
Высота помещения	$H_{\text{п}}$	м		5,5
Высота излучателя	$h$	м	Таблица Б.2 (приложение Б)	0,12
Плотности потоков эффективного излучения	$q_{\text{эф,1}}$	Вт/м <sup>2</sup>		6344,5
	$q_{\text{эф,2}}$	Вт/м <sup>2</sup>		3333,0
Высота установки излучателя над контрольной плоскостью	$H$	м	$H_{\text{п}} - h - 1,7$	3,68
<p>Вариант 1: Один излучатель теплопроизводительностью 10 кВт (см. таблицу Б.2, приложение Б)</p>  <p>Контрольные точки</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>Излучатель</p> <p><math>B_{\text{п}}</math></p> <p><math>L_{\text{п}}</math></p>				
<i>Контрольная точка 1</i>				
Расстояние до проекции излучателя на контрольную плоскость	$X$	м	Схема расположения излучателя	0
Угол облучения	$\theta$	рад	Формула (7.26)	0
Коэффициент облучения	$\Phi_1$	–	Формула (7.27)	0,0109
	$\Phi_2$	–	Формула (7.29)	0,0244
Коэффициент, учитывающий экранирующее влияние отражателя	$S$	–	Формула (7.30)	1
Интенсивность теплового облучения	$q_{\text{пад, 1}}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.31)	114,2

## Продолжение таблицы Б.4

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
<i>Контрольная точка 2</i>				
Расстояние до проекции излучателя на контрольную плоскость	$X$	м	Схема расположения излучателя	5,6
Угол облучения	$\theta$	рад	Формула (7.26)	0,99
Коэффициент облучения	$\Phi_1$	—	Формула (7.27)	0,0033
	$\Phi_2$	—	Формула (7.29)	0,0041
Коэффициент, учитывающий экранирующее влияние отражателя	$S$	—	Формула (7.30)	0,56
Интенсивность теплового облучения	$q_{\text{пад, 2}}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.31)	19,0
<i>Максимальное и минимальное значения интенсивности теплового облучения</i>				
Максимальное значение интенсивности теплового облучения	$q_{\text{пад}}^{\text{max}}$	Вт/м <sup>2</sup>	$q_{\text{пад}}^{\text{max}} = q_{\text{пад, 1}}$	114,2
Минимальное значение интенсивности теплового облучения	$q_{\text{пад}}^{\text{min}}$	Вт/м <sup>2</sup>	$q_{\text{пад}}^{\text{min}} = q_{\text{пад, 2}}$	19,0
Неравномерность теплового облучения	$K$	—	Формула (9.3)	0,83
<i>Проверка выполнения условий теплового комфорта</i>				
Номер формулы	Проверка			
(9.4)	$(q_{\text{пад}}^{\text{max}} = 114,2) > (q_{\text{доп}} = 100)$			
(9.5)	$(K = 0,83) > (K_{\text{доп}} = 0,5)$			
<i>Вывод: условия теплового комфорта не выполняются</i>				
<p>Вариант 2: Два излучателя теплопроизводительностью 5 кВт каждый (см. таблицу Б.3 (приложение Б), расстояние между излучателями 5,6 м</p> 				

Продолжение таблицы Б.4

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
<i>Контрольная точка 1</i>				
Расстояние до проекции излучателя на контрольную плоскость	$X$	м	Схема расположения излучателя	0
Угол облучения	$\theta$	рад	Формула (7.26)	0
Коэффициент облучения	$\Phi_1$	—	Формула (7.27)	0,0073
	$\Phi_2$	—	Формула (7.29)	0,0162
Коэффициент, учитывающий экранирующее влияние отражателя	$S$	—	Формула (7.30)	1
Вклад первого излучателя в интенсивность теплового облучения	$q_{\text{пад, 1}}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.31)	76,1
Расстояние до проекции второго излучателя на контрольную плоскость	$X$	м	Схема расположения излучателя	5,6
Угол облучения	$\theta$	рад	Формула (7.26)	0,99
Коэффициент облучения	$\Phi_1$	—	Формула (7.27)	0,0022
	$\Phi_2$	—	Формула (7.29)	0,0027
Коэффициент, учитывающий экранирующее влияние отражателя	$S$	—	Формула (7.30)	0,39
Вклад второго излучателя в интенсивность теплового облучения	$q_{\text{пад, 2}}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.31)	11,6
Интенсивность теплового облучения	$q_{\text{пад, 1}}$	Вт/м <sup>2</sup>	$q_{\text{пад, 1}} + q_{\text{пад, 2}}$	87,7
<i>Контрольная точка 2</i>				
Расстояние до проекции первого излучателя на контрольную плоскость	$X$	м	Схема расположения излучателя	2,8
Угол облучения	$\theta$	рад	Формула (7.26)	0,65
Коэффициент облучения	$\Phi_1$	—	Формула (7.27)	0,0046
	$\Phi_2$	—	Формула (7.29)	0,0082
Коэффициент, учитывающий экранирующее влияние отражателя	$S$	—	Формула (7.30)	0,73
Вклад первого излучателя в интенсивность теплового облучения	$q_{\text{пад, 12}}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.31)	37,6
Расстояние до проекции второго излучателя на контрольную плоскость	$X$	м	Схема расположения излучателя	8,4
Угол облучения	$\theta$	рад	Формула (7.26)	1,16

## Окончание таблицы Б.4

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
Коэффициент облучения	$\Phi_1$	—	Формула (7.27)	0,0012
	$\Phi_2$	—	Формула (7.29)	0,0011
Коэффициент, учитывающий экранирующее влияние отражателя	$S$	—	Формула (7.30)	0,22
Вклад второго излучателя в интенсивность теплового облучения	$q_{\text{пад}, 22}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.31)	4,3
Интенсивность теплового облучения	$q_{\text{пад}, 2}$	Вт/м <sup>2</sup>	$q_{\text{пад}, 12} + q_{\text{пад}, 22}$	41,9
<i>Контрольная точка 3</i>				
Расстояние до проекции каждого из излучателей на контрольную плоскость	$X$	м	Схема расположения излучателя	2,8
Угол облучения	$\theta$	рад	Формула (7.26)	0,65
Коэффициент облучения	$\Phi_1$	—	Формула (7.27)	0,0046
	$\Phi_2$	—	Формула (7.29)	0,0082
Коэффициент, учитывающий экранирующее влияние отражателя	$S$	—	Формула (7.30)	0,73
Вклад каждого излучателя в интенсивность теплового облучения	$q_{\text{пад}, 13}$ $q_{\text{пад}, 23}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.31)	37,6
Интенсивность теплового облучения	$q_{\text{пад}, 3}$	Вт/м <sup>2</sup>	$q_{\text{пад}, 13} + q_{\text{пад}, 23}$	75,2
<i>Максимальное и минимальное значения интенсивности теплового облучения</i>				
Максимальное значение интенсивности теплового облучения	$q_{\text{пад}}^{\text{max}}$	Вт/м <sup>2</sup>	$q_{\text{пад}}^{\text{max}} = q_{\text{пад}, 1}$	87,7
Минимальное значение интенсивности теплового облучения	$q_{\text{пад}}^{\text{min}}$	Вт/м <sup>2</sup>	$q_{\text{пад}}^{\text{min}} = q_{\text{пад}, 2}$	41,9
Неравномерность теплового облучения	$K$	—	Формула (9.3)	0,48
<i>Проверка выполнения условий теплового комфорта</i>				
Номер формулы	Проверка			
(9.4)	$(q_{\text{пад}}^{\text{max}} = 87,7) > (q_{\text{доп}} = 100)$			
(9.5)	$(K = 0,48) > (K_{\text{доп}} = 0,5)$			
<i>Вывод: условия теплового комфорта выполняются</i>				

Таблица Б.5 – Пример расчета мощности излучения и лучистого КПД светлого ГИИ марки ГК-27У-1

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
<i>Конструктивные и теплофизические параметры</i>				
Длина излучателя	$a$	м	Исходные данные	0,272
Ширина излучателя	$b$	м		0,192
Высота излучателя	$h$	м		0,035
Угол раскрытия отражателя	$\alpha$	рад (град.)		0,785 (45)
Температура излучающей поверхности	$T_1$	К		1173
Температура помещения	$T_0$	К		284
Эффективная степень черноты излучающей поверхности	$\varepsilon_1$	–	Таблица А.8 (приложение А)	0,85
Степень черноты отражателя (нержавеющая сталь)	$\varepsilon_2, \varepsilon'$	–		0,5
<i>Расчет температуры отражателя</i>				
Площадь излучающей поверхности	$F_1$	м <sup>2</sup>	Формула (8.1)	0,0522
Площадь поверхности отражателя	$F_2$	м <sup>2</sup>	Формула (8.2)	0,0529
Площадь условной поверхности, замыкающей полость отражателя	$F_0$	м <sup>2</sup>	Формула (8.3)	0,0896
Промежуточные переменные	$z_1$	–	Формула (8.5)	1,0365
	$z_2$	–	Формула (8.6)	0,0787
	$z_3$	–	Формула (8.7)	0,0565
	$z_4$	–	Формула (8.8)	0,0047
Угловые коэффициенты излучения в полости отражателя	$\varphi_{10}$	–	Формула (8.4)	0,9060
	$\varphi_{12}$	–	Формула (8.10)	0,0940
Угловые коэффициенты излучения в полости отражателя	$\varphi_{01}$	–	Формула (7.7)	0,5280
	$\varphi_{02}$	–	Формула (7.8)	0,4720
	$\varphi_{20}$	–	Формула (7.9)	0,8000
	$\varphi_{21}$	–	Формула (7.10)	0,0929
	$\varphi_{22}$	–	Формула (7.11)	0,1071
Вспомогательные коэффициенты	$\tilde{\varphi}_{02}$	–	Формула (7.15)	0,4794
	$\tilde{\varphi}_{22}$	–	Формула (7.16)	0,1084

## Окончание таблицы Б.5

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
Разрешающие угловые коэффициенты излучения в полости отражателя	$\Phi_{22}$	—	Формула (7.12)	0,1146
	$\Phi_{02}$	—	Формула (7.13)	0,5069
	$\Phi_{12}$	—	Формула (7.14)	0,0994
Приближенное значение температуры внешней поверхности отражателя	$T'$	К	Пункт 8.2.4	410
Суммарный коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности отражателя при температуре $T'$	$\alpha'$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Таблица В.1* (приложение В)	16,0
Вспомогательные параметры	$A$	—	Формула (7.18)	1,188
	$B$	—	Формула (7.19)	0,511
Температура внутренней поверхности отражателя	$T_2$	К	Таблица В.3** (приложение В)	406,9
<i>Расчет мощности теплового излучения</i>				
Вспомогательные величины	$\tilde{q}_1$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.20)	91292
	$\tilde{q}_2$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.21)	925
	$q_{эф.1}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.22)	91369
	$q_{эф.2}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (7.23)	5461
Мощность излучения	$Q_{луч}$	Вт	Формула (7.24)	4521
Тепловая мощность излучателя	$Q_{газ}$	Вт	Исходные данные [16]	7424
Лучистый КПД излучателя	$\eta_{изл}$	%	Формула (7.25)	66,2
* Пример использования таблицы В.1 (приложение В) для расчета коэффициента теплоотдачи $\alpha'$ приведен в таблице В.2 (приложение В).				
** Пример использования таблицы В.3 (приложение В) для расчета температуры приведен в таблице В.4 (приложение В).				

Таблица Б.6 – Пример расчета интенсивности теплового облучения зоны обогрева при использовании светлого ГИИ марки ГК-27У-1

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
Высота излучателя	$h$	м	Таблица Б.5 (приложение Б)	0,035
Угол раскрытия отражателя	$\alpha$	рад (град)		(0,785) 45
Плотности потоков эффективного излучения	$q_{эф,1}$	Вт/м <sup>2</sup>		91369
	$q_{эф,2}$	Вт/м <sup>2</sup>		5461
Высота установки излучателя над контрольной плоскостью	$H$	м	Исходные данные	3,5
Угол наклона излучателя	$\alpha'$	рад (град.)		0,524 (30)
<i>Контрольная точка 1 – центр зоны обогрева</i>				
Расстояние от проекции излучателя на контрольную плоскость до контрольной точки	$X$	м	Формула (8.14)	2,02
Угол облучения, отсчитываемый от вертикальной оси	$\theta$	рад	$\arctg(X/H)$	0,524
Угол облучения, отсчитываемый от нормали к излучающей поверхности	$\theta'$	рад	Формула (8.15)	0
Вспомогательные величины	$H'$	м	Формулы (8.16)	4,04
	$X'$	м		0
Коэффициенты облучения	$\varphi_1$	–	Формула (8.17) при $H = H'$	0,00102
	$\varphi_2$	–	Формула (8.18) при $X = X'$	0,00174
Коэффициент, учитывающий экранирующее влияние отражателя	$S$	–	Формула (8.12) при $X = X'$	1
Интенсивность теплового облучения	$q_{обл}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (8.18)	83,8
<i>Контрольная точка 2 – максимум интенсивности теплового облучения</i>				
Расстояние от проекции излучателя на контрольную плоскость до контрольной точки	$X$	м	Результат вариантного расчета	1,0
Угол облучения, отсчитываемый от вертикальной оси	$\theta$	рад	$\arctg(X/H)$	0,252
Угол облучения, отсчитываемый от нормали к излучающей поверхности	$\theta'$	рад	Формула (8.15)	0,272
Вспомогательные величины	$H'$	м	Формулы (8.16)	3,48
	$X'$	м		0,97
	$A$	–	Формулы (8.11) при $X = X'$ и $H = H$	13,824
	$B_1$	–		0,0352
	$B_2$	–		0,0604

## Окончание таблицы Б.6

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Источник информации или формула	Значение показателя
Коэффициент облучения	$\varphi_1$	—	Формула (8.9)	0,00118
	$\varphi_2$	—	Формула (8.10)	0,00202
Коэффициент, учитывающий экранирующее влияние отражателя	$S$	—	Формула (8.12) при $X = X'$	1
Интенсивность теплового облучения	$q_{\text{обл}}$	Вт/м <sup>2</sup>	Формула (8.17)	97,2

**Приложение В**  
(рекомендуемое)

**Таблицы для расчета температуры отражателя**

Таблица В.1 — Значения суммарного коэффициента теплоотдачи на внешней поверхности отражателя в зависимости от ее степени черноты  $\varepsilon'$  и температуры  $T'$ , К

$\varepsilon'$	Температура внешней поверхности отражателя $T'$																				
	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600
0,05	4,1	5,5	6,4	7,2	7,9	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,9	12,7	13,5	14,3	15,1	15,9	16,6	17,4	18,1	18,9
0,10	4,4	5,8	6,8	7,5	8,2	8,8	9,4	10,0	10,5	11,0	11,5	12,4	13,3	14,2	15,0	15,8	16,7	17,5	18,3	19,2	20,0
0,15	4,7	6,1	7,1	7,9	8,6	9,2	9,8	10,4	10,9	11,4	11,9	12,9	13,9	14,8	15,7	16,6	17,5	18,4	19,3	20,2	21,1
0,20	5,0	6,4	7,4	8,2	9,0	9,6	10,2	10,8	11,4	11,9	12,4	13,4	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,3	20,3	21,3	22,3
0,25	5,3	6,7	7,7	8,6	9,3	10,0	10,6	11,2	11,8	12,4	12,9	14,0	15,0	16,1	17,1	18,1	19,1	20,2	21,2	22,3	23,4
0,30	5,6	7,1	8,1	8,9	9,7	10,4	11,0	11,6	12,2	12,8	13,4	14,5	15,6	16,7	17,8	18,9	20,0	21,1	22,2	23,4	24,5
0,35	5,9	7,4	8,4	9,3	10,0	10,7	11,4	12,1	12,7	13,3	13,9	15,0	16,2	17,3	18,5	19,6	20,8	22,0	23,2	24,4	25,6
0,40	6,2	7,7	8,7	9,6	10,4	11,1	11,8	12,5	13,1	13,7	14,4	15,6	16,8	18,0	19,2	20,4	21,6	22,9	24,1	25,4	26,8
0,45	6,5	8,0	9,1	10,0	10,8	11,5	12,2	12,9	13,6	14,2	14,8	16,1	17,3	18,6	19,9	21,1	22,4	23,8	25,1	26,5	27,9
0,50	6,8	8,3	9,4	10,3	11,1	11,9	12,6	13,3	14,0	14,7	15,3	16,6	17,9	19,2	20,5	21,9	23,3	24,6	26,1	27,5	29,0
0,55	7,1	8,6	9,7	10,6	11,5	12,3	13,0	13,7	14,4	15,1	15,8	17,2	18,5	19,9	21,2	22,6	24,1	25,5	27,0	28,6	30,2
0,60	7,4	8,9	10,0	11,0	11,8	12,6	13,4	14,2	14,9	15,6	16,3	17,7	19,1	20,5	21,9	23,4	24,9	26,4	28,0	29,6	31,3
0,65	7,7	9,2	10,4	11,3	12,2	13,0	13,8	14,6	15,3	16,0	16,8	18,2	19,7	21,1	22,6	24,2	25,7	27,3	29,0	30,7	32,4
0,70	8,0	9,5	10,7	11,7	12,6	13,4	14,2	15,0	15,8	16,5	17,3	18,7	20,3	21,8	23,3	24,9	26,5	28,2	29,9	31,7	33,5
0,75	8,3	9,9	11,0	12,0	12,9	13,8	14,6	15,4	16,2	17,0	17,7	19,3	20,8	22,4	24,0	25,7	27,4	29,1	30,9	32,8	34,7
0,80	8,6	10,2	11,3	12,4	13,3	14,2	15,0	15,8	16,6	17,4	18,2	19,8	21,4	23,0	24,7	26,4	28,2	30,0	31,9	33,8	35,8
0,85	8,9	10,5	11,7	12,7	13,7	14,5	15,4	16,2	17,1	17,9	18,7	20,3	22,0	23,7	25,4	27,2	29,0	30,9	32,8	34,8	36,9
0,90	9,1	10,8	12,0	13,1	14,0	14,9	15,8	16,7	17,5	18,3	19,2	20,9	22,6	24,3	26,1	27,9	29,8	31,8	33,8	35,9	38,1
0,95	9,4	11,1	12,3	13,4	14,4	15,3	16,2	17,1	17,9	18,8	19,7	21,4	23,2	24,9	26,8	28,7	30,6	32,7	34,8	36,9	39,2
1,00	9,7	11,4	12,7	13,7	14,7	15,7	16,6	17,5	18,4	19,3	20,2	21,9	23,7	25,6	27,5	29,4	31,5	33,6	35,7	38,0	40,3

ε'	Температура внешней поверхности отражателя T'																			
	620	640	680	700	720	740	780	800	820	840	880	900	920	940	980	1000	1020	1040	1080	1100
0,05	19,6	20,4	21,1	21,9	22,6	23,3	24,1	24,9	25,6	26,4	27,1	27,9	28,7	29,5	30,2	31,0	31,8	32,6	33,4	34,3
0,10	20,8	21,7	22,5	23,4	24,2	25,1	26,0	26,8	27,7	28,6	29,5	30,4	31,4	32,3	33,3	34,2	35,2	36,2	37,2	38,2
0,15	22,1	23,0	23,9	24,9	25,8	26,8	27,8	28,8	29,8	30,9	31,9	33,0	34,1	35,2	36,3	37,4	38,6	39,8	41,0	42,2
0,20	23,3	24,3	25,3	26,4	27,5	28,6	29,7	30,8	31,9	33,1	34,3	35,5	36,8	38,0	39,3	40,7	42,0	43,4	44,8	46,2
0,25	24,5	25,6	26,7	27,9	29,1	30,3	31,5	32,8	34,1	35,4	36,7	38,1	39,5	40,9	42,4	43,9	45,4	47,0	48,5	50,2
0,30	25,7	26,9	28,2	29,4	30,7	32,0	33,4	34,8	36,2	37,6	39,1	40,6	42,2	43,8	45,4	47,1	48,8	50,5	52,3	54,2
0,35	26,9	28,2	29,6	30,9	32,3	33,8	35,2	36,7	38,3	39,9	41,5	43,2	44,9	46,6	48,4	50,3	52,2	54,1	56,1	58,1
0,40	28,1	29,5	31,0	32,4	33,9	35,5	37,1	38,7	40,4	42,1	43,9	45,7	47,6	49,5	51,5	53,5	55,6	57,7	59,9	62,1
0,45	29,4	30,8	32,4	34,0	35,6	37,2	38,9	40,7	42,5	44,4	46,3	48,2	50,3	52,3	54,5	56,7	58,9	61,3	63,7	66,1
0,50	30,6	32,2	33,8	35,5	37,2	39,0	40,8	42,7	44,6	46,6	48,7	50,8	53,0	55,2	57,5	59,9	62,3	64,8	67,4	70,1
0,55	31,8	33,5	35,2	37,0	38,8	40,7	42,6	44,7	46,7	48,9	51,1	53,3	55,7	58,1	60,5	63,1	65,7	68,4	71,2	74,1
0,60	33,0	34,8	36,6	38,5	40,4	42,4	44,5	46,6	48,8	51,1	53,5	55,9	58,4	60,9	63,6	66,3	69,1	72,0	75,0	78,0
0,65	34,2	36,1	38,0	40,0	42,1	44,2	46,4	48,6	51,0	53,4	55,8	58,4	61,1	63,8	66,6	69,5	72,5	75,6	78,8	82,0
0,70	35,4	37,4	39,4	41,5	43,7	45,9	48,2	50,6	53,1	55,6	58,2	61,0	63,8	66,6	69,6	72,7	75,9	79,2	82,5	86,0
0,75	36,7	38,7	40,8	43,0	45,3	47,6	50,1	52,6	55,2	57,9	60,6	63,5	66,5	69,5	72,7	75,9	79,3	82,7	86,3	90,0
0,80	37,9	40,0	42,2	44,5	46,9	49,4	51,9	54,6	57,3	60,1	63,0	66,0	69,2	72,4	75,7	79,1	82,7	86,3	90,1	94,0
0,85	39,1	41,3	43,6	46,0	48,5	51,1	53,8	56,5	59,4	62,4	65,4	68,6	71,9	75,2	78,7	82,3	86,1	89,9	93,9	97,9
0,90	40,3	42,6	45,1	47,6	50,2	52,8	55,6	58,5	61,5	64,6	67,8	71,1	74,5	78,1	81,8	85,5	89,4	93,5	97,6	101,9
0,95	41,5	44,0	46,5	49,1	51,8	54,6	57,5	60,5	63,6	66,9	70,2	73,7	77,2	81,0	84,8	88,7	92,8	97,1	101,4	105,9
1,00	42,7	45,3	47,9	50,6	53,4	56,3	59,3	62,5	65,7	69,1	72,6	76,2	79,9	83,8	87,8	91,9	96,2	100,6	105,2	109,9

Таблица В.2 – Пример расчета коэффициента теплоотдачи по таблице В.1

Схема ячейки таблицы В.1				
Параметр	Обозначение	Единица измерения	Формула или таблица	Значение параметра
Температура внешней поверхности отражателя	$T'$	К	Таблица Б.5 (приложение Б)	385
Степень черноты внешней поверхности отражателя	$\varepsilon_1$	—		0,45
Табличные значения температуры, ближайшие к $T'$	$T'_0$	К	Таблица В.1 (приложение В)	380
	$T'_1$	К		390
Табличные значения степени черноты, ближайшие к $\varepsilon'$	$\varepsilon'_0$			0,45
	$\varepsilon'_1$			0,50
Табличное значение коэффициента теплоотдачи, соответствующее параметрам $T'_0, \varepsilon'_0$	$\alpha'_{00}$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)		13,6
Табличное значение коэффициента теплоотдачи, соответствующее параметрам $T'_1, \varepsilon'_0$	$\alpha'_{10}$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)		14,2
Табличное значение коэффициента теплоотдачи, соответствующее параметрам $T'_0, \varepsilon'_1$	$\alpha'_{01}$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)		14,0
Табличное значение коэффициента теплоотдачи, соответствующее параметрам $T'_1, \varepsilon'_1$	$\alpha'_{11}$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)		14,7
Параметры интерполяции	$x$		$(T' - T'_0) / (T'_1 - T'_0)$	0,5
	$y$		$(\varepsilon' - \varepsilon'_0) / (\varepsilon'_1 - \varepsilon'_0)$	0
Коэффициент теплоотдачи	$\alpha'$	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$(1-x) \cdot (1-y) \cdot \alpha'_{00} +$ $+ x \cdot (1-y) \cdot \alpha'_{10} +$ $+ (1-x) \cdot y \cdot \alpha'_{01} +$ $+ x \cdot y \cdot \alpha'_{11}$	13,9

Таблица В.3 — Температура внутренней поверхности отражателя, К, в зависимости от параметров А и В

В	А																					
	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0	
0,05	472,9	413,8	350,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,10	562,3	521,4	478,0	432,8	387,4	344,0	304,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,15	622,3	589,2	554,5	518,4	481,4	444,2	407,8	373,2	341,1	312,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,20	668,7	640,2	610,5	579,8	548,3	516,1	483,9	452,1	421,3	392,0	364,6	339,5	316,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,25	707,1	681,7	655,4	628,2	600,4	572,0	543,2	514,3	485,8	457,9	431,0	405,4	381,4	359,0	338,4	319,4	302,1	—	—	—	—	—
0,30	740,1	716,9	693,0	668,5	643,4	617,7	591,6	565,3	539,0	512,9	487,3	462,4	438,4	415,6	394,1	373,9	355,1	337,6	321,5	306,5	—	—
0,35	769,2	747,7	725,7	703,2	680,1	656,6	632,7	608,4	584,1	559,7	535,5	511,7	488,5	465,9	444,3	423,7	404,2	385,7	368,4	352,2	337,1	—
0,40	795,3	775,3	754,8	733,8	712,4	690,5	668,3	645,8	623,1	600,3	577,5	554,9	532,6	510,7	489,4	468,9	449,1	430,3	412,3	395,3	379,3	—
0,45	819,0	800,2	780,9	761,2	741,2	720,7	699,9	678,9	657,6	636,1	614,6	593,1	571,8	550,8	530,1	509,9	490,3	471,3	453,1	435,7	419,1	—
0,50	840,9	823,0	804,8	786,2	767,3	748,0	728,4	708,5	688,4	668,2	647,8	627,4	607,0	586,8	566,8	547,2	527,9	509,2	491,0	473,4	456,6	—
0,55	861,2	844,2	826,8	809,1	791,1	772,9	754,3	735,5	716,4	697,2	677,8	658,4	638,9	619,5	600,3	581,2	562,4	544,0	526,0	508,5	491,6	—
0,60	880,1	863,8	847,2	830,4	813,2	795,8	778,1	760,2	742,0	723,7	705,2	686,7	668,0	649,4	630,9	612,4	594,2	576,2	558,5	541,2	524,4	—
0,65	897,9	882,3	866,4	850,2	833,8	817,1	800,2	783,0	765,7	748,2	730,5	712,7	694,8	676,9	659,1	641,2	623,5	606,0	588,7	571,7	555,1	—
0,70	914,7	899,6	884,3	868,8	853,0	837,0	820,7	804,3	787,7	770,9	753,9	736,8	719,6	702,4	685,2	667,9	650,8	633,7	616,9	600,2	583,8	—
0,75	930,6	916,1	901,3	886,3	871,1	855,7	840,0	824,2	808,2	792,1	775,7	759,3	742,8	726,1	709,5	692,8	676,2	659,6	643,2	626,9	610,8	—
0,80	945,7	931,7	917,4	902,9	888,2	873,3	858,2	843,0	827,5	811,9	796,2	780,3	764,4	748,3	732,2	716,1	700,0	683,9	667,8	651,9	636,2	—
0,85	960,2	946,5	932,7	918,7	904,4	890,0	875,4	860,7	845,8	830,7	815,5	800,2	784,7	769,2	753,6	737,9	722,3	706,6	691,1	675,5	660,1	—
0,90	974,0	960,7	947,3	933,7	919,9	905,9	891,8	877,5	863,0	848,4	833,7	818,9	803,9	788,9	773,7	758,6	743,3	728,1	712,9	697,8	682,7	—
0,95	987,3	974,4	961,3	948,0	934,6	921,1	907,3	893,5	879,5	865,3	851,0	836,6	822,1	807,5	792,8	778,0	763,3	748,5	733,7	718,9	704,2	—
1,00	1000,0	987,4	974,7	961,8	948,8	935,6	922,2	908,7	895,1	881,4	867,5	853,5	839,4	825,2	810,9	796,6	782,2	767,7	753,3	738,9	724,5	—

Окончание таблицы В.3

В	А																				
	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,0	
0,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,35	323,0	309,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,40	364,2	350,0	336,7	324,1	312,4	301,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,45	403,4	388,4	374,2	360,9	348,2	336,3	325,1	314,4	304,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,50	440,4	424,9	410,2	396,1	382,8	370,2	358,2	346,8	336,0	325,8	316,1	307,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,55	475,2	459,5	444,4	429,9	416,0	402,8	390,2	378,2	366,8	356,0	345,6	335,8	326,5	317,5	309,1	301,0	—	—	—	—	—
0,60	508,0	492,1	476,8	462,0	447,8	434,2	421,1	408,7	396,7	385,3	374,4	364,0	354,1	344,6	335,6	327,0	318,7	310,9	303,3	—	—
0,65	538,8	522,9	507,5	492,6	478,2	464,3	450,9	438,0	425,6	413,8	402,4	391,6	381,1	371,2	361,7	352,5	343,8	335,4	327,4	319,8	—
0,70	567,7	552,0	536,6	521,6	507,1	493,0	479,4	466,2	453,6	441,4	429,6	418,4	407,5	397,1	387,2	377,6	368,4	359,6	351,2	343,1	—
0,75	595,0	579,4	564,1	549,2	534,6	520,5	506,7	493,4	480,5	468,0	456,0	444,4	433,2	422,4	412,1	402,1	392,6	383,4	374,5	366,0	—
0,80	620,6	605,3	590,2	575,4	560,8	546,7	532,9	519,4	506,4	493,7	481,5	469,6	458,1	447,1	436,4	426,1	416,2	406,7	397,5	388,6	—
0,85	644,8	629,7	614,9	600,2	585,8	571,7	557,9	544,4	531,3	518,5	506,1	494,0	482,3	471,0	460,1	449,5	439,3	429,5	419,9	410,8	—
0,90	667,8	652,9	638,3	623,8	609,6	595,5	581,8	568,3	555,2	542,3	529,8	517,6	505,8	494,3	483,1	472,3	461,9	451,8	442,0	432,5	—
0,95	689,5	675,0	660,5	646,3	632,2	618,3	604,7	591,3	578,1	565,3	552,7	540,4	528,5	516,8	505,5	494,5	483,9	473,5	463,5	453,8	—
1,00	710,2	695,9	681,7	667,7	653,8	640,1	626,6	613,3	600,2	587,3	574,8	562,5	550,4	538,7	527,3	516,1	505,3	494,8	484,6	474,6	—

Таблица В.4 – Пример расчета температуры отражателя по таблице В.3

Схема ячейки таблицы В.3			
Параметр	Обозначение	Формула или таблица	Значение параметра
Входные параметры	$A'$	Формула (7.18)	0,979
	$B'$	Формула (7.19)	0,353
Табличные значения параметра А ближайшие к $A'$	$A_0$	Таблица В.2 (приложение В)	0,95
	$A_1$		1,0
Табличные значения параметра В ближайшие к $B'$	$B_0$		0,35
	$B_1$		0,40
Табличное значение температуры, соответствующее параметрам $A_0, B_0$	$T_{00}$		352,2
Табличное значение температуры, соответствующее параметрам $A_1, B_0$	$T_{10}$		337,1
Табличное значение температуры, соответствующее параметрам $A_0, B_1$	$T_{01}$		395,3
Табличное значение температуры, соответствующее параметрам $A_1, B_1$	$T_{11}$		379,3
Параметры интерполяции	$x$	$(A' - A_0) / (A_1 - A_0)$	0,58
	$y$	$(B' - B_0) / (B_1 - B_0)$	0,06
Температура отражателя	$T_2$	$(1-x) \cdot (1-y) \cdot T_{00} +$ $+ x \cdot (1-y) \cdot T_{10} +$ $+ (1-x) \cdot y \cdot T_{01} +$ $+ x \cdot y \cdot T_{11}$	346,0

## Библиография

- [1] Свод правил СП 7.13130.2009 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования
- [2] Строительные нормы и правила СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений
- [3] Строительные нормы и правила СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование
- [4] Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
- [5] Нормы пожарной безопасности НПБ 105-2003 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
- [6] Ведомственный руководящий документ ОАО «Газпром» ВРД 39-1.8-055-2002 Типовые технические требования на проектирование КС, ДКС и КС ПХГ
- [7] Строительные нормы и правила СНиП 23-01-99 Строительная климатология
- [8] Свод правил СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий
- [9] Строительные нормы и правила СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий
- [10] Внутренние санитарно-технические устройства: Справочник / Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера: В 3 ч. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – Кн.1.– Москва: Стройиздат, 1992
- [11] Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
- [12] Строительные нормы и правила СНиП II-35-76 Котельные установки
- [13] Малявина Е.Г. Теплотери здания. – Москва: Издательство АВОК, 2007
- [14] Теплотехнический справочник / Под ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева: В 2-х томах. – Т. 2. – Москва: Энергия, 1976
- [15] Теплообмен излучением: Справочник / Под ред. А.Г. Блоха, Ю.А. Журавлева, Л.Н. Рыжкова. – Москва: Энергоатомиздат, 1991
- [16] Родин А.К. Газовое лучистое отопление. – Ленинград: Недра, 1991

---

ОКС 27.010

Ключевые слова: методика расчета, система, лучистое отопление, тепловая нагрузка на систему лучистого отопления

---