Общество с ограниченной ответственностью
Научно-производственное объединение ТЕРМЭК

ООО «НПО ТЕРМЭК»

Открытое Акционерное общество
Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный
институт промышленных зданий и сооружений

ОАО ЦНИИПРОМЗДАНИЙ

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И

по применению и расчету газо-воздушных систем

лучистого отопления

Москва – 2002

gost.e-ecolog.ru

Рекомендации разработаны ООО «НПО ТЕРМЭК» и ОАО ЦНИИпромзданий.

Творческий коллектив: к.т.н. Наумов А.Л. (руководитель работы), к.т.н. Булычева О.П., к.т.н. Климовицкий М.С., к.т.н. Шилькрот Е.О., инж. Алексеева И.Ю.

При разработке рекомендаций использованы результаты исследований «НПО ТЕРМЭК», ОАО ЦНИИпромзданий, НИИ медицины труда РАМН.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ 4

В В Е Д Е Н И Е 5

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 6

2. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ 6

3. РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ 12

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА 21

ЛИТЕРАТУРА 27

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A, B, H-	- длина, ширина и высота помещения, м;
$h_{ИЗЛ}$	- высота подвески излучателей, м;
$d_{ТР}$	- диаметр теплоизлучающих труб, м;
F	- площадь, $м^2$;
V	- скорость, м/с;
G	- расход воздуха, газообразного теплоносителя, кг/с;
P	- давление, Па;
t	- температура воздуха, °С;
τ	- температура поверхности, °С;
λ	- коэффициент теплопроводности, Вт/м °С;
K	- коэффициент теплопередачи, Вт/($м^2$ °С);
α	- коэффициент теплоотдачи, Вт/($м^2$ °С);
Q	- тепловая мощность, теплопотери, тепловыделения, кВт, Вт;
ρ	- плотность, кг/$м^3$;
Кр	- кратность воздухообмена, 1/час;
C	- поправочный коэффициент для расчета теплопотерь;

Индексы

в	- воздух помещения;	***н***	- наружный воздух;
вент	- вентиляционный;	***нз***	– нижняя зона;
вз	– верхняя зона;	***ок***	- окна;
вн	- внутренний;	***пл***	- пол;
г	- газообразный теплоноситель;	***пт***	- потолок;
год	- годовой;	***ст***	- стены;
и	- инфильтрация;	***тр***	- трубы;
изл	- излучатели;	***ф***	- фонарь;
л	- лучистый	***час***	- часовой.

В В Е Д Е Н И Е

Настоящие рекомендации предназначены для проектирования систем газовоздушного лучистого отопления с теплоизлучающими трубами (ГВЛО) во вновь строящихся и реконструируемых помещениях производственных (сборочных, механических, ремонтных цехов, складов, депо, гаражей, ангаров) и общественных (рынки, спортивные залы, вокзалы, перроны и т.п.) зданий.

Обогрев рабочей, обслуживаемой, зоны осуществляется преимущественно тепловым излучением с поверхности теплоизлучающих труб, устанавливаемых в верхней зоне помещения.

Применение ГВЛО обеспечивает: повышение равномерности распределения температуры воздуха в объеме помещения; малую подвижность воздуха в помещении; отсутствие неприятного «дутья», сокращение переноса пыли и вредных выделений; бесшумность работы; повышенную надежность (незамерзаемость теплоносителя).

ГВЛО в большинстве случаев позволяет поддерживать требуемые условия микроклимата при пониженной в среднем на 2÷4 °С температуре внутреннего воздуха по сравнению с нормируемой [1, 2] и позволяет сократить расход тепловой энергии на нагрев приточного воздуха в вентилируемых помещениях .

Система лучистого отопления автономна и легко регулируема, не требует прокладки тепловых сетей и ввода в эксплуатацию (1,5-2 мес.).

Уменьшение расхода тепловой энергии при использовании ГВЛО, по сравнению с традиционными системами, может достигать 30÷40%, в том числе за счет сокращения теплопотерь здания и эффективного регулирования режимов работы системы.

ГВЛО имеет ограничения по области применения из условий обеспечения пожарной безопасности.

Рекомендации позволяют рассчитать тепловую нагрузку на систему газовоздушного лучистого отопления, определять площадь поверхности и диаметр теплоизлучающих труб, выбрать схему их расположения в помещении, определить расход газа и среднегодовое потребление теплоты и газа.

Рекомендации могут быть использованы для расчета систем лучистого отопления с автономными теплогенераторами на жидком топливе, а также для систем, использующих продукты сгорания от технологических установок (при обосновании).

Расчет ГВЛО связан с проведением трудоемких вычислений показателей воздушно-теплового режима отапливаемого помещения.

В настоящих рекомендациях использованы простые формулы, графики и номограммы, полученные в результате обобщения данных численного моделирования воздушно-теплового режима помещений с ГВЛО, выполненного по специально разработанной программе на ЭВМ.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Рекомендации предназначены для проектирования систем газо-воздушного лучистого отопления во вновь строящихся и реконструируемых помещениях производственных и общественных зданий высотой 6-40 м, расположенных в I-IV климатических районах России.

1.2. ГВЛО может использоваться совместно с другими видами отопления, системой вентиляции. В случае для определения расходов теплоты на нагрев приточного воздуха температуру в помещении следует принимать в соответствии с п. 3.15.

1.3. Теплоносителем в системе отопления является смесь воздуха и продуктов сгорания с температурой до 450 ^{o} С.

2. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

2.1. Газо-воздушная система лучистого отопления состоит из контура излучателей, подсоединенного к одному (или двум) теплогенераторам. Принципиальные схемы системы отопления приведены на рис. 1. Нагретая смесь воздуха и продуктов сгорания перемещаются по контуру циркуляционным вентилятором.

2.2. Отопительным прибором в системе отопления является излучатель, состоящий из теплоизлучающих труб, боковых экранов и тепловой изоляции. Конструкции излучателей представлены на рис. 2.

2.3.Рекомендуемые параметры конструкций излучателей:

- диаметр теплоизлучающих труб: $d_{ТР}$ = 250, 315, 400, 500, 600 мм;
- число труб в излучателе: $n_{ТР}$ = 2÷4;
- толщина боковых стальных экранов 0,5÷0,7 мм;
- толщина стенки теплоизлучающих труб 0,5÷1,0 мм;
- толщина теплоизоляционного слоя 100 мм; $\lambda_{ТИ}$ = 0,045÷0,055 Вт/м.°С.

Доля лучистой составляющей теплоотдачи излучателей $\psi \approx 0{,}6$. Теплоотдающие поверхности труб покрываются температуростойкой краской со степенью черноты не менее 0,9.

Свес боковых экранов δ (рис. 2) должен составлять 0,1 ширины горизонтальной проекции излучателя.

ГПИ «Сантехпроект» по техническому заданию ЦНИИпромзданий разработал рабочие чертежи излучателей для систем лучистого отопления [5].

2.4. Возможные схемы размещения излучателей в помещении и схемы движения теплоносителя в излучающих трубах, позволяющих обеспечить равномерный или с заданной неравномерностью, обогрев рабочей (обслуживаемой) зоны, показаны на рис. 1.

Схема (а) с параллельным движением теплоносителя рекомендуется для помещений, имеющих внутреннюю перегородку, вдоль которой размещается обратная ветвь системы.

Схема (б) обеспечивает равномерную теплоотдачу всего контура и рекомендуется как наиболее общая для однопролетных зданий.

Если для компенсации теплопотерь помещения требуется установка 2-х теплогенераторов, их целесообразно включать в общий контур по схеме (в). При этом, в ходе сезонного регулирования один из теплогенераторов может быть отключен полностью, что позволит обеспечить экономию электроэнергии на привод вентиляторов.

Схему (в) рекомендуется использовать, если аэродинамическое сопротивление контура в расчетном режиме превышает располагаемой давление одного циркуляционного вентилятора.

Движение теплоносителя в теплоизлучающих трубах может быть параллельным или встречным.

Схему (г), с количеством параллельных ветвей более 2-х, целесообразно использовать в многопролетных цехах; при этом подающие ветви размещаются по периметру наружных стен, обратные линии – в середине пролетов.

Количество ветвей в системе определяется расчетом, в зависимости от требуемой площади теплоотдающей поверхности (см. раздел 3).

Для обеспечения равномерного распределения лучистого теплового потока по площади цеха расстояние между ветвями в центральной части помещения следует принимать в соответствии с условием:

$$l \le 0{,}9(h_{изл} - 1) \qquad (1)$$

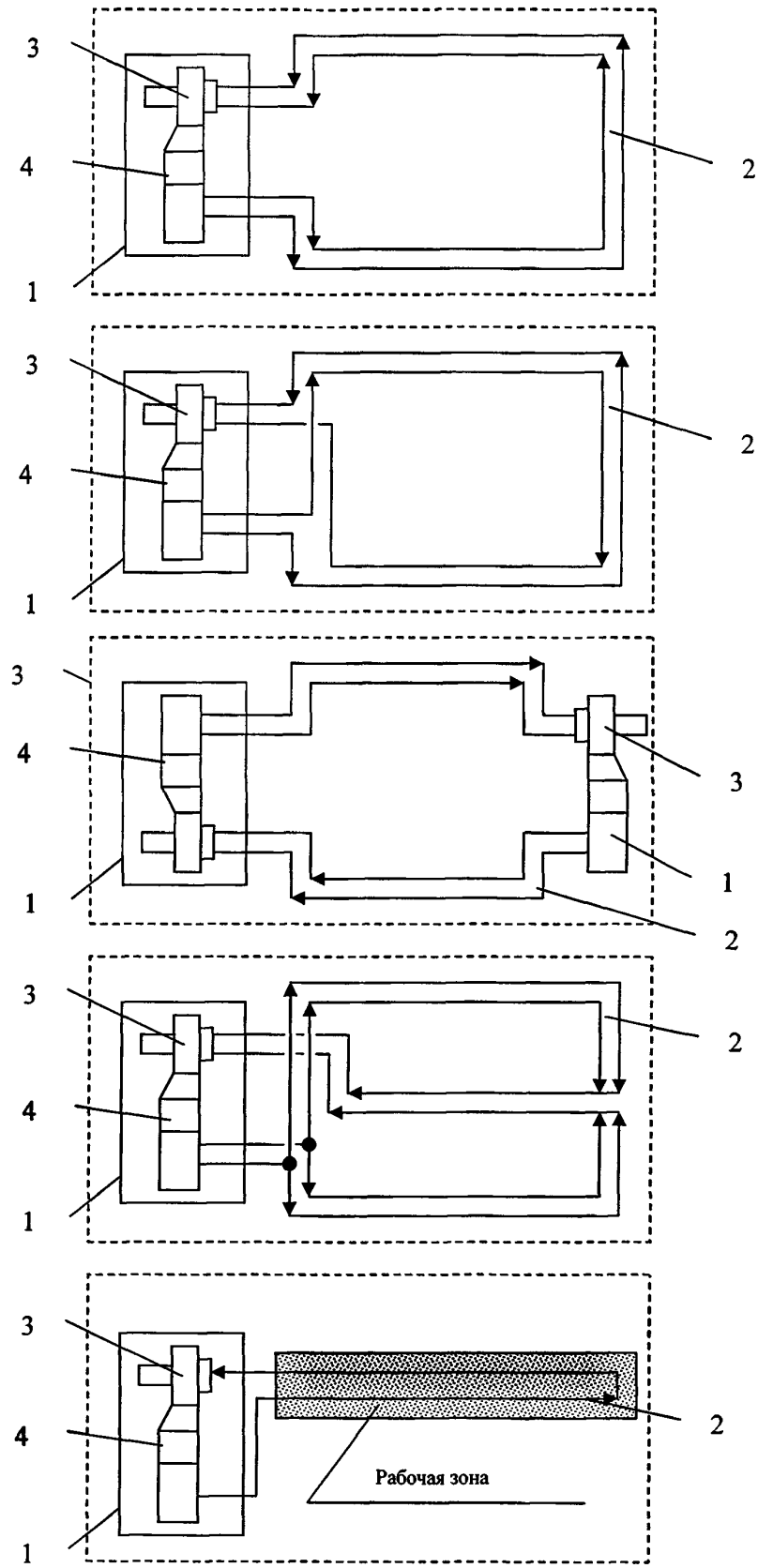


Рис. 1. Принципиальные схемы газовоздушной системы лучистого отопления
1- теплогенератор, 2 – теплоизлучатели, 3 – циркуляционный вентилятор, 4 – газогорелочный блок
Примечание: стрелками показано направление движения теплоносителя в трубах

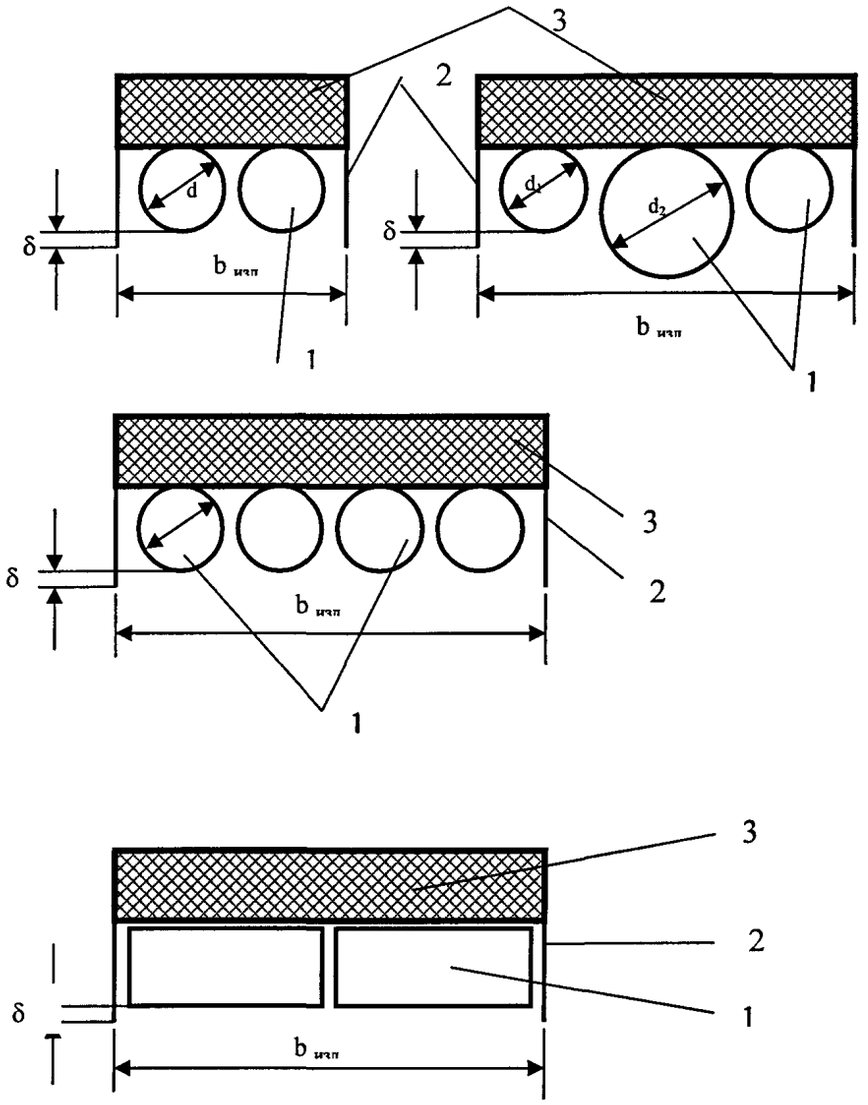


Рис. 2. Конструкции излучателей

1 – теплоизлучающие трубы; 2- боковые экраны; 3- тепловая изоляция

В пристенной зоне расстояние между двумя крайними лентами излучателей и крайней лентой излучателей и наружной стеной должно быть уменьшено вдвое (рис. 3).

Для протяженных зданий с фиксированной рабочей зоной излучатели могут размещаться в одну линию, непосредственно над рабочей зоной (схема б).

При выборе схем и трассировке ветвей следует учитывать наличие источников и стоков тепла вблизи рабочих зон (тепловыделяющего оборудования, ворот, окон).

2.5.Выбор конструкции излучателя и числа теплоизлучающих труб в нем производится, исходя из требуемой поверхности теплоотдачи (раздел 3), конструктивных возможностей их размещения и эстетических соображений. При этом следует руководствоваться данными таблицы 1.

Таблица 1

Площадь теплоотдающей поверхности, $м^2$ на 1 п.м. излучателя	Рекомендуемый типоразмер теплоизлучателя
До 0,8	2-х трубный d = 315; с прямоугольными трубами – 250х500
0,8÷1,0	2-х трубный d = 400; с прямоугольными трубами – 315х600
1,0÷1,2	4-х трубный d = 250; 2-х трубный d = 500
1,2÷1,5	3-х трубный d_1 = 315; d_2= 500; 4-х трубный d = 315; 2-х трубный d = 630

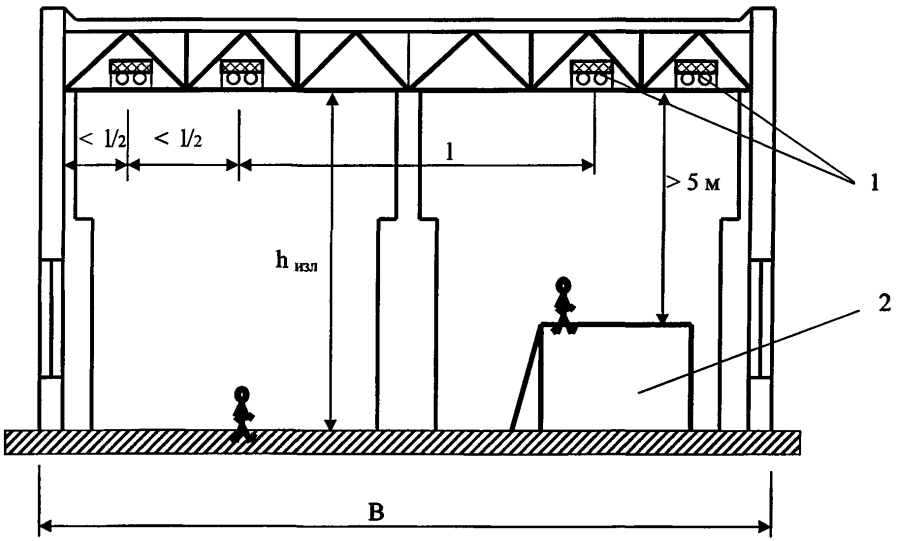


Рис. 3. Схема расположения излучателей в помещении

1- излучатели; 2- рабочая площадка

2.6. Излучатели устанавливаются в помещении горизонтально под покрытием.

Крепление излучателей осуществляется к фермам или к покрытию с помощью подвесок, скользящих опор. Способ крепления принимается в зависимости от конкретной конструкции ферм и покрытия.*

Излучатели располагаются на одном уровне на высоте не менее 5 м от поверхности пола или рабочей площадки (рис. 3). При наличии мостовых кранов и кранбалок излучатели должны устанавливаться выше их уровни или снаружи.

2.7. Теплогенераторы могут размещаться внутри обслуживаемого помещения. Они могут устанавливаться на полу помещений, чердачных этажах, на эстакадах, на кровле здания и т.п. . При размещении теплогенераторов должны соблюдаться правила установки, обслуживания и эксплуатации газового оборудования.

2.8. Для компенсации теплового удлинения теплоизлучающих труб следует предусматривать такие крепления излучателей к конструкциям ферм или покрытия,
которые не препятствуют горизонтальным смещениям вследствие теплового удлинения труб.

2.9. В системах газовоздушного лучистого отопления применяются теплогенераторы ТГЛ-0,5 мощностью 500 кВт, разработанные ВНПО «Союзпромгаз» по техническому заданию Главмособлстроя и ЦНИИпромзданий. Технические характеристики теплогенератора ТГЛ-0,5 приведены в таблице 2. Предусмотрена разработка теплогенераторов тепловой мощностью 1 и 2 МВт.

---

* При этом выполняется проверка конструкций ферм и покрытия на дополнительную весовую нагрузку от системы отопления

Таблица 2

Технические характеристики теплогенератора ТГЛ-0,5

№№ п/п	Наименование технической характеристики	Единица измерения	Значение
1	2	3	4
1.	Тепловая мощность, передаваемая в систему отопления	кВт	70÷575
2.	Коэффициент полезного действия, не менее		0,92
3.	Расход газа	$м^3/ч$	7,5÷60
4.	Давление газа перед горелкой, не более	кПа	50
5.	Расход дутьевого воздуха	$м^3/ч$	145÷1100
6.	Давление дутьевого воздуха перед горелкой, не более	кПа	2,0
7.	Температура теплоносителя	°С	Определяется расчетом, но не более 450° С
8.	Номинальная производительность по теплоносителю при потерях давления в сети 2000 Па в нормальных условиях	кг/ч	15000
9.	Потребляемая электрическая мощность, не более	кВт	10
10.	Габаритные размеры: длина ширина высота	м м м	2,0 1.25 2,5
11.	Масса	кг	1000
12.	Занимаемая площадь с учетом зоны обслуживания	$м^2$	15

3. РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

3.1. Расчет включает: определение тепловой нагрузки на систему лучистого отопления; определение площади теплоизлучающей поверхности; выбор конструкции излучателей; определение расхода и перепада температур теплоносителя; аэродинамический расчет сети теплоизлучающих труб; определение расчетного расхода газа и среднегодового потребления теплоты и газа.

3.2. Основные теплопотери здания Q, Вт, и расхода теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха $Q_И$, Вт, определяются в соответствии с [5]. Расчетная температура внутреннего воздуха помещения принимается в соответствии с [1-3].

3.3.Расчетная тепловая нагрузка на систему лучистого отопления определяется по формуле:

$$Q_{\Sigma} = C(Q + Q_{и} - Q_{вн}) \qquad (2)$$

где $Q_{вн}$ - тепловыделения от людей и оборудования (включая теплопоступления от вспомогательных, например, дежурных систем отопления), Вт;

В величину $Q_{вн}$ включается часть тепловой нагрузки системы вентиляции.

$$Q^{*}_{вент} = 0{,}28 G_{вент}(t_{пр} - t_{в}) \qquad (3)$$

где $Q_{вент}$ - расход вентиляционного воздуха, кг/ч;

$t_{пр}$ - температура приточного воздуха.

В формуле (2) поправочный коэффициент «С» учитывает возможное снижение температуры внутреннего воздуха в рабочей (обслуживаемой) зоне и ее распределение по высоте помещения при лучистом отоплении. Значение коэффициента «С» определяется по графику на рис. 4 в зависимости от комплексных показателей Р и М.

Показатель P, 1/ч, определяется по формуле:

$$P = K_{P} - \frac{3Q_{вн}}{A \cdot B \cdot H(t_{в} - t_{н})} \qquad (4)$$

где $K_{р}$ – кратность инфильтрационного воздухообмена, 1/ч;

A, B, H – соответственно длина, ширина и высота отапливаемого здания (при отсутствии внутренних перегородок) или отапливаемого помещения, отделенного перегородкой от остальной части здания, м;

$t_{н}$ - расчетная наружная температура, оС.

Показатель M определяется по формуле:

$$M = \frac{B}{H} \cdot \frac{K_{вз}}{K_{нз}} \qquad (5)$$

где: $K_{вз}$, $K_{нз}$ - средневзвешенные по площадям отдельных элементов наружных ограждений коэффициенты теплопередачи для зон помещения, расположенных соответственно выше и ниже уровня подвески излучателей, Вт/м^2 °С**

---

* Величина $Q_{вент}$ при условии $t_{пр} < t_{в}$ может быть отрицательной. В этом случае она вычитается из $Q_{вн}$.

** При определении $К_{нз}$ в число наружных ограждений не включается пол.

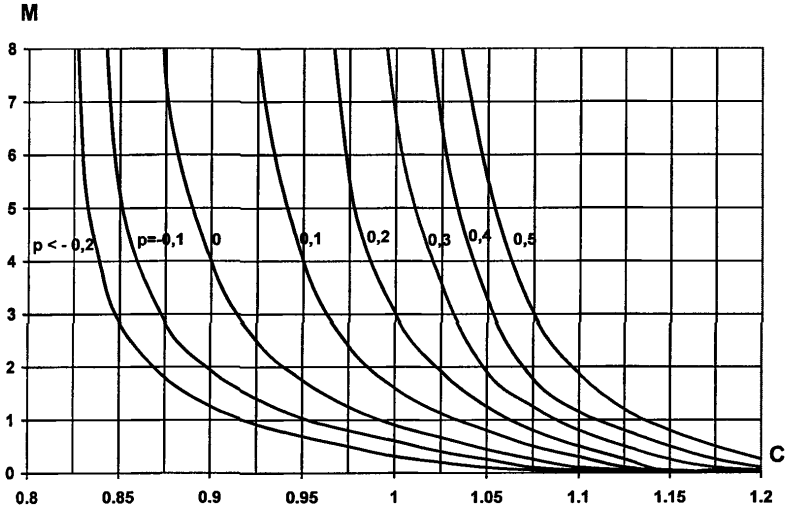


Рис. 4. Определение поправочного коэффициента для расчета теплопотерь
$M \approx (B/h)\ K_{вз}/K_{н}$; $P = K_{р} - 3\ Q_{вн}[AxBxH(t_{в} - t_{н})]$

$$K_{вз} = \frac{K_{пт}F_{пт} + K_{ст.вз}F_{ст.вз} + K_{ф}F_{ф}}{F_{пт} + F_{ст.вз} + F_{ф}} \qquad (6)$$

$$K_{нз} = \frac{K_{ст.нз}F_{ст.нз} + K_{ок}F_{ок} + K_{вор}F_{вор}}{F_{ст.нз} + F_{ок} + F_{вор}} \qquad (7)$$

где $K_{пт}$, $K_{ф}$, $K_{ок}$, $K_{вор}$, $K_{ст.вз}$, $K_{ст.нз}$ – коэффициенты теплопередачи, соответственно конструкций потолка, зенитных фонарей, окон, ворот, стен верхней и нижней зон помещения, Вт/м^2 °С;

$F_{пт}$, $F_{ф}$, $F_{ок}$, $F_{ст.вз}$, $F_{ст.нз}$ – соответствующие площади ограждений, м^2.

3.4. При $Q_{вн} \geq 0{,}2\ (Q + Q_{и})$ следует определить тепловую нагрузку на систему лучистого отопления в дежурном режиме $Q_{\Sigma}^{деж}$ по формуле (2).

3.5. Определяется тепловая нагрузка на излучатели:

$$Q_{изл} = Q_{\Sigma} / \beta \qquad (8)$$

где β - коэффициент, учитывающий поступление тепла от подводящих магистралей.

При теплоизолированных магистралях [$R_{из}$ = 0,8÷1,2 м^2 °С/ Вт] следует принимать $\beta = 1{,}03$.

Максимальная теплоотдача излучателей при соблюдении II-го условия теплового комфорта [2]:

$$Q_{\max} = \alpha_л(\tau_{тр}^{доп} - t_в)0{,}25 \cdot A \cdot B \qquad (9)$$

где $\tau_{тр}^{доп}$ - температура поверхности труб, максимально допустимая по II условию теплового комфорта при размещении излучателей на 15% площади покрытия, °С (определяется по графику на рис. 5);

$\alpha_л$ - коэффициент лучистой теплоотдачи системы, Вт/м^2 °С (определяется по левой ветви номограммы на рис. 7 при $\tau_{тр}^{доп}$.

Проводится сравнение величин Q_{max} и $Q_{изл}$. Должно выполняться условие:

$$Q_{изл} \leq 1{,}05\, Q_{max} \qquad (10)$$

В случае, если это условие не выполняется, тепловая мощность системы лучистого отопления снижается и одновременно предусматриваются дополнительные теплопоступления в помещение за счет одного из следующих мероприятий:

- увеличение температуры приточного воздуха в системе вентиляции с соответствующими ограничениями [6];
- устройство вспомогательной системы отопления (отопительно-рециркуляционные агрегаты, местные нагревательные приборы) или увеличение ее теплопроизводительности.

Величина дополнительных теплопоступлений:

$$Q_{доп} = (Q_{изл} - Q_{\max}) \cdot 1{,}03 \qquad (11)$$

Для дальнейших расчетов в случае невыполнения условия (10) принимается, что $Q_{изл} = Q_{max}$.

3.6. При $Q_\Sigma \geq Q_\Sigma^{деж}$ площадь теплоизлучающей поверхности:

$$F_л = \frac{0{,}6 Q_{изл}}{\alpha_л(\tau_{тр} - t_в)} \qquad (12)$$

где $\tau_{тр}$ - средняя температура поверхности труб, определяемая по графику на рис. 6 в зависимости от соотношения $Q_{изл} = Q_{max.}$, но не более $\tau_{тр}^{\max} = 180^o$ С;

$\alpha_л$ – определяется по графику на рис. 7 при $\tau_{тр}$.

3.7. При $Q_\Sigma < Q_{тр}^{доп}$ площадь излучающей поверхности:

$$F_л = \frac{0.58 Q_\Sigma^{деж}}{\alpha_л (\tau_{пн}^{max} - 5)} \qquad (13)$$

где $\alpha_л$ - определяется по графику на рис. 7 при $\tau_{тр}^{доп}$ = 180° С.

3.8. Выбирается схема размещения излучателей в соответствии с требуемым количеством теплогенераторов и рекомендациями п. 2.4. Определяется требуемая поверхность теплоотдачи 1 п.м. излучателя:

$$f = \frac{F_1}{\sum L}, \text{ м}^2/\text{п.м.} \qquad (14)$$

где ΣL – суммарная длина излучателей по выбранной схеме, м.

Конструкция излучателя принимается в соответствии с данными таблицы 1 с учетом возможности их размещения.

3.9.Для системы, подключенной к каждому теплогенератору, определение средней температуры $t_Г$ и скорости движения теплоносителя $V_Г$ проводится по номограмме на рис. 7, исходя из значения $\alpha_л$ по п. 3.6 или 3.7, и следующей формуле:

$$V_г = \frac{G_{тр}}{900 \cdot \pi \cdot d_{тр}^2 \cdot \rho} \qquad (15)$$

где $G_{тр}$ - расход теплоносителя по каждой из параллельно расположенных труб в излучателе, кг/ч;

$\rho_г$ - плотность теплоносителя, кг/м^3, при

$$\rho_г = \frac{353}{t_г + 273} \qquad (16)$$

Расчет ведется итерационным методом. Рекомендуется в первом приближении принимать $\rho_г$ = 0,7 кг/м^3.

При задании $G_{ТР}$ следует учесть, что в расчетном режиме циркуляционный вентилятор перемещает нагретый воздух, температура которого определяется расчетом в п. 3.10.

Рис. 5. Зависимость максимально допустимой температуры поверхности излучателей от $B/h_{изл}$ при $F_{тр} = 0,15\ F_{пх}$

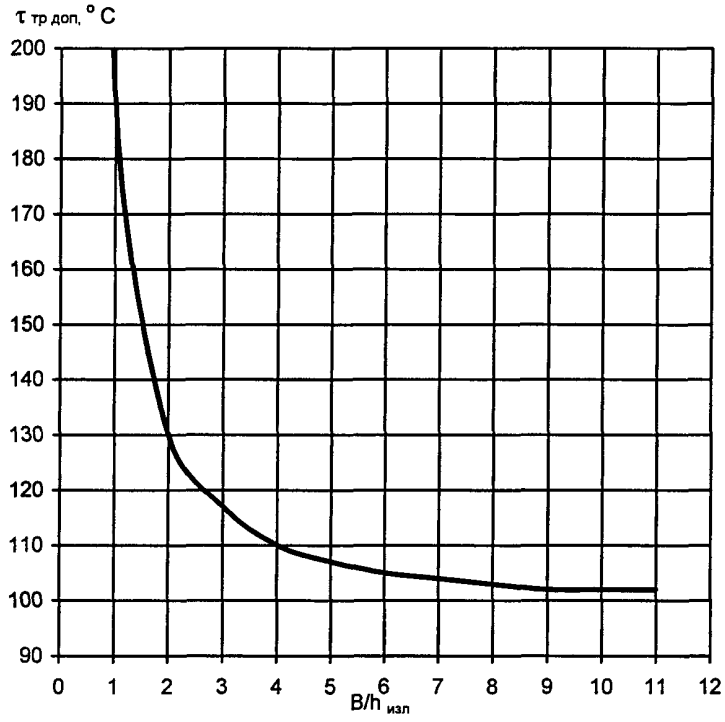


Рис. 6. Определение расчетной температуры поверхности труб

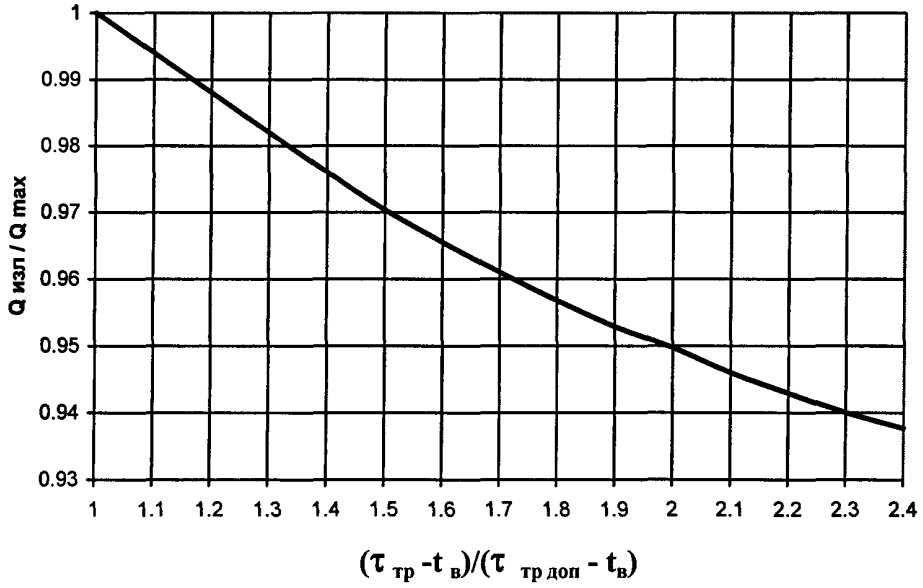


Рис. 5. Зависимость максимально допустимой температуры поверхности излучателей от $B/h_{изл}$ при $F_{тр} = 0{,}15\ F_{пх}$

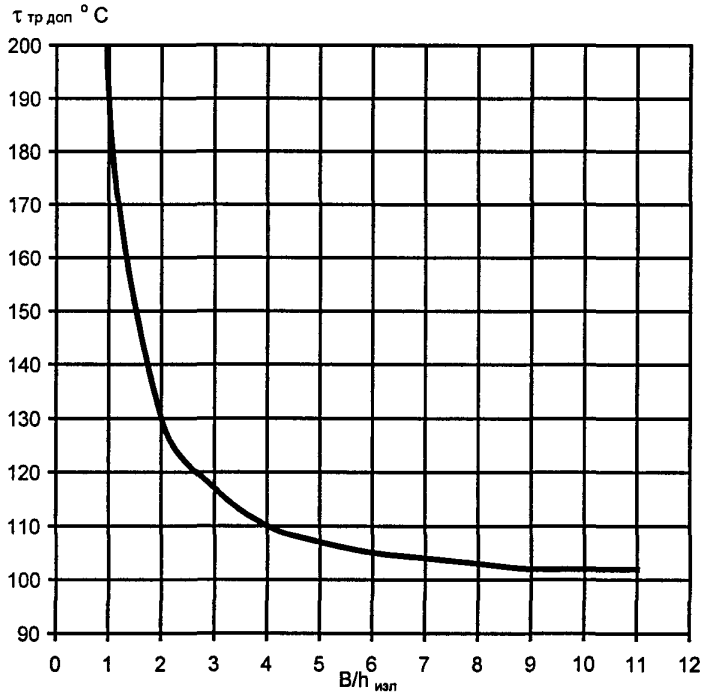
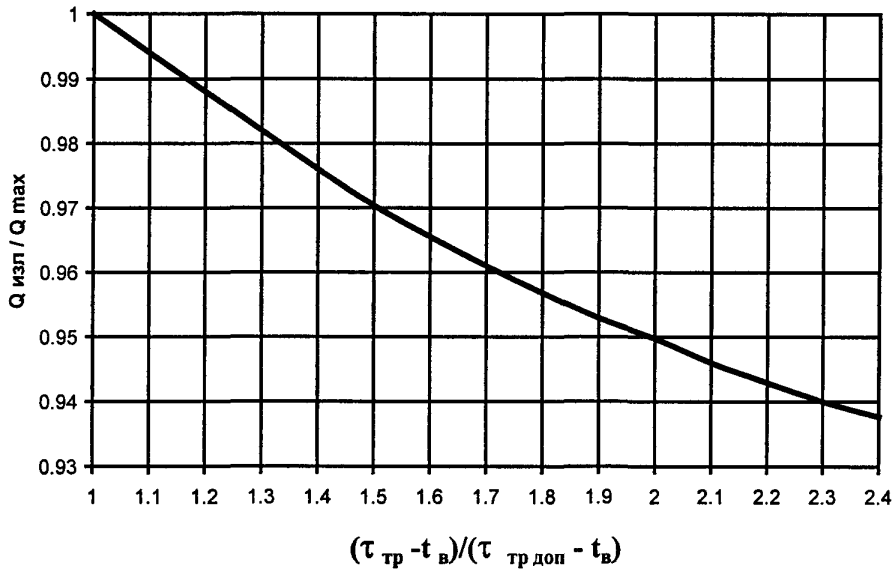


Рис. 6. Определение расчетной температуры поверхности труб



По техническим условиям для вентилятора максимальная температура перемещаемой среды (в обратной магистрали) не должна превышать 200° С. Поэтому G_{TP} в первом приближении определяется по формуле:

$$G = 0{,}52\frac{G}{G_{mp}} \qquad (17)$$

где G – производительность циркуляционного вентилятора в нормальных условиях (таблица 2), кг/ч.

3.10. Определяется перепад температуры теплоносителя для каждого теплогенератора:

$$\Delta t_г = \frac{3600 \cdot Q_{mг}}{0{,}62 \cdot G \cdot c_г} \qquad (18)$$

где $Q_{mг}$ - тепловая нагрузка на 1 теплогенератор в расчетном режиме, Вт;

$c_г$ - теплоемкость теплоносителя при $t_г$, Дж/кг °С.

Минимальная температура теплоносителя в системе:

$$t_г^{\min} = t_г - \frac{\Delta t_г}{2} \qquad (19)$$

Определяем среднюю температуру и скорость движения теплоносителя.

При $t_г^{\min}$ > 200° С необходимо уменьшить расчетную температуру поверхности труб и повторить расчет, начиная с п. 3.6 или п. 3.7. При отличающейся в меньшую сторону от 200° С больше, чем на 10° С, следует определить новое значение G_{mp} по формуле:

$$G_{mp} = G_{mp} \cdot \frac{473}{t_г^{\min} + 273} \qquad (20)$$

и повторить расчет, начиная с п. 3.9.

3.11. Проводится аэродинамический расчет системы теплоизлучающих труб для каждого теплогенератора. При этом фактически располагаемое давление вентилятора определяется по формуле:

$$P_Ф = P \cdot \frac{293}{t_Г^{\min} + 273}, \qquad (21)$$

где P – располагаемое давление циркуляционного вентилятора (таблица 2).

При превышении аэродинамических потерь в системе над фактическим располагаемым давлением вентилятора необходимо перейти к большему размеру теплоизлучателя и сделать перерасчет, начиная с п. 3.9.

3.12. Максимальный часовой расход газа:

$$Q_{газ}^{час} = \frac{3{,}6 \cdot Q_P}{\eta_{тг} \cdot Q_н^P}, \qquad (22)$$

где $Q_p = \max(Q_\Sigma; Q_\Sigma^{деж})$;

$\eta_{тг}$ – КПД теплогенератор (таблица 2);

$Q_н^P$ – удельная теплота сгорания газа, кДж/м^3.

3.13. Среднегодовой расход теплоты на отопление:

$$Q^{год} = 3{,}6 \cdot 10^{-6}\left[\frac{Q_\Sigma (n-a)m(t_в - t_{н.ср})}{t_в - t_{н.ср}} + \frac{Q_\Sigma^{деж}(5 - t_{н.ср})(24n - nm + dm)}{5 - t_н}\right], \text{ГДж} \quad (23)$$

где n – продолжительность отопительного периода, сутки;

d – сумма нерабочих дней в течение отопительного периода (допускается принимать $d = 2/7$ n);

m – число часов работы в сутки;

$t_{н.ср}$ – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, °С.

3.14. Среднегодовой расход газа:

$$G_{газ}^{год} = \frac{Q_{год}}{\eta_{тг} \cdot G_н^P} \cdot 10^6 \qquad (24)$$

3.15. При совмещении системы газовоздушного лучистого отопления с другими системами отопления и вентиляции тепловая нагрузка на последние определяется при температуре воздуха в рабочей зоне, определяемой по формуле:

$$t_{Р.З.} = t_в + \Delta t \qquad (25)$$

где Δt – определяется по графику на рис. 8 в зависимости от комплексного показателя P.

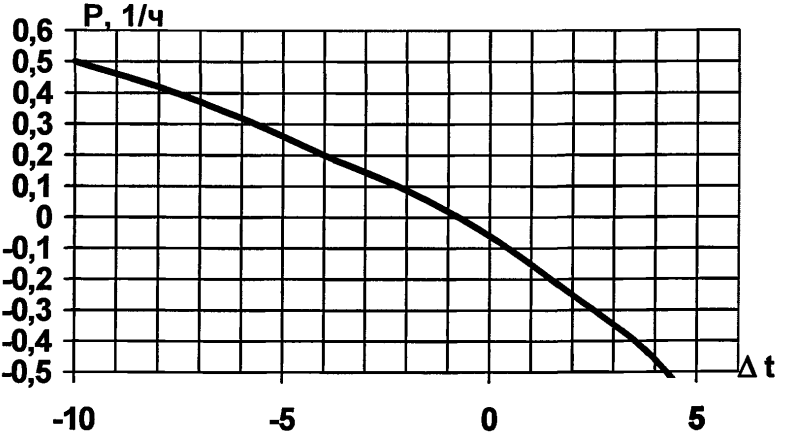


Рис. 8. Определение снижения температуры воздуха в рабочей зоне при работе системы лучистого отопления

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Расчет выполняется для механосборочного цеха машиностроительного завода. Размеры помещения 102 х 24 х 13 м. район строительства – Московская область. Расчетная наружная температура –26° С. Средняя за отопительный период температура наружного воздуха –3,6° С. Продолжительность отопительного периода 213 суток. Режим работы – двухсменный. Внутренние тепловыделения от оборудования $Q_{ВН}$ = 24200 Вт. Кратность инфильтрационного воздухообмена 0,2 1/ч. Расчетная температура воздуха в помещении для средней категории тяжести труда П-б, $t_В$ = 16° С. Теплопотери помещения (с учетом затрат тепловой энергии на нагрев инфильтрационного воздуха) по СНиП 2.04.05-86: $Q + Q_И$ = 515250 Вт. Средневзвешенные коэффициенты теплопередачи $K_{НЗ}$ = 1,286 Вт/м^2°С; $K_{НЗ}$ = 2,151 Вт/м^2°С. Высота подвески излучателей $h_{ИЗЛ}$ = 10 м.

Определяем комплексные показатели P и M.

$$P = K_P - \frac{3Q_{вн}}{A \cdot B \cdot H(t_в - t_н)} = 0{,}2 - \frac{3 \cdot 242000}{102 \cdot 24 \cdot 13 \cdot (16 + 26)} = -0{,}34 \text{ 1/ч};$$

$$M = \frac{B}{H} \cdot \frac{K_{вз}}{K_{нз}} = \frac{24}{13} \cdot \frac{1{,}286}{2{,}151} = 1{,}1$$

По графику на рис. 4 определяется поправочный коэффициент $c = 0{,}916$.

Тепловая нагрузка на систему лучистого отопления:

$$Q_{\Sigma} = C(Q + Q_{н} - Q_{вн}) = 0{,}916(515250 - 242000) = 250300 \text{ Вт}$$

Учитывая значительную величину технологических тепловыделений, следует провести расчет системы в режиме дежурного отопления. В этом случае $t_{в}^{деж} = 5^{o}C, Q_{вн} = 0$.

$$Q^{деж} = (Q + Q_{и}) \cdot \frac{t_{в}^{деж} - t_{н}}{t_{в} - t_{н}} = 515250 \cdot \frac{5 + 26}{16 + 26} = 380300 \text{ Вт}$$

$$P = K_{P} = 0{,}2 \text{ 1/ч}$$

По графику на рис. 4 $c = 1{,}058$.

$$Q_{\Sigma}^{деж} = 1{,}058 \cdot 380300 = 402400 \text{ Вт.}$$

$$Q_{изл} = \frac{Q}{\beta} = \frac{250300}{1{,}03} = 243010 \text{ Вт.}$$

По графику на рис. 5 средняя температура поверхности труб по П условию теплового комфорта $\tau_{тр}^{доп} = 124^{o}C$ при $\frac{B}{h_{изл}} = \frac{24}{10} = 2{,}4$. По графику на рис. 7 $\alpha_{л}$ = 8,5 Вт/м^2 °С.

Максимальная теплоотдача излучателей:

$$Q_{\max} = \alpha_{л}(\tau_{тр}^{доп} - t_{в}) \cdot 0{,}25 \cdot A \cdot B = 8{,}5(124 - 16) \cdot 0{,}25 \cdot 102 \cdot 24 = 561820 \text{ Вт}$$

Так как $Q_{\Sigma} \prec Q_{\Sigma}^{деж}$ площадь теплоизлучающей поверхности определяется по формуле (13). По графику на рис. 7 при $\tau_{ТР}$ = 180° С

$$\alpha_{л} = 10{,}9 \text{ Вт/м}^2\text{°С.}$$

$$F_{л} = \frac{0{,}58 Q_{\Sigma}^{деж}}{\alpha_{л}(\tau_{тр}^{max} - t_{в})} = \frac{0{,}58 \cdot 402400}{10{,}9(180 - 5)} = 122{,}4 \text{ м}^2$$

Принимаем разводку излучателей в виде замкнутого контура теплоизлучающих труб длиной 180 м, подсоединенных к одному теплогенератору ТГЛ-0,5, со встречным движением теплоносителя.

Требуемая поверхность теплоотдачи 1 п.м. излучателя:

$$f = \frac{F_{л}}{\Sigma L} = \frac{122{,}4}{180} = 0{,}68 \text{ м}^2\text{/п.м.}$$

По данным таблицы 1 принимаем 2-х трубный излучатель, диаметр труб 315 мм.

$$G_{тр} = 0{,}62\frac{G}{n_{тр}} = 0{,}62\frac{15000}{2} = 4650 \text{ кг/ч.}$$

В первом приближении при $\rho_г = 0{,}7$ кг/м^3:

$$V_г = \frac{G_{тр}}{900\pi \cdot d_{тр}^2 \cdot \rho_г} = \frac{4650}{900 \cdot \pi \cdot 0{,}315^2 \cdot 0{,}7} = 23{,}7 \text{ м/с}$$

По номограмме на рис. 7 при $\alpha_л = 10{,}9$ Вт/м^2 °С, $t_г = 295°$ С.

$$\rho_г = \frac{353}{295 + 273} = 0{,}621 \text{ кг/м}^3$$

$$V_г = \frac{4650}{900 \cdot \pi \cdot 0{,}315^2 \cdot 0{,}621} = 26{,}7 \text{ м/с}$$

По номограмме $t_г = 283°$ С:

$$\rho_г = 0{,}635 \text{ кг/м}^3; \; V_г = 26{,}1 \text{ м/с}$$

По номограмме $t_г = 287°$ С.

Окончательно принимаем $t_г = 287°$ С; $V_г = 26{,}2$ м/с.

Перепад температуры теплоносителя:

$$\Delta t_г = \frac{3600 \cdot Q_{тг}}{0{,}62 \cdot G \cdot c_г} = \frac{3600 \cdot 402400}{0{,}62 \cdot 15000 \cdot 1044} = 150°C.$$

Минимальная температура теплоносителя в системе:

$$t_г^{\min} = t_г - \frac{\Delta t_г}{2} = 285 - \frac{150}{2} = 210°C,$$

что больше минимально допустимой 200° С. потому уменьшаем расчетную температуру поверхности труб до 150° С. По графику на рис. 7 $\alpha_л = 10{,}9$ Вт/м^2 °С

$$F_л = \frac{0{,}58 \cdot 402400}{9{,}7(150 - 6)} = 165{,}9 \text{ м}^2$$

$$f = \frac{165{,}9}{180} = 0{,}92 \text{ м}^2\text{/п.м.}$$

Принимаем 2-х трубный излучатель, диаметр труб 400 мм.

$$V_г = \frac{4650}{900 \cdot \pi \cdot 0{,}4^2 \cdot 0{,}7} = 14{,}7 \text{ м/с}$$

По номограмме $t_г = 282^\circ$ С.

$$\rho_г = 0{,}636 \text{ кг/м}^3; \; V_г = 16{,}2 \text{ м/с}.$$

По номограмме $t_г = 275^\circ$ С.

$$\rho_г = 0{,}644 \text{ кг/м}^3; \; V_г = 16{,}0 \text{ м/с}.$$

По номограмме $t_г = 277^\circ$ С.

Окончательно принимаем $t_г = 276^\circ$ С; $V_г = 16{,}0$ м/с.

$$\Delta t_г = \frac{3500 \cdot 402400}{0{,}62 \cdot 15000 \cdot 1043} = 150^\circ C$$

$$t_г^{\min} = 276 - \frac{150}{2} = 201^\circ C \approx 200^\circ C$$

Пересчет G_{mp} не требуется.

Проводится аэродинамический расчет системы. Фактическое располагаемое давление вентилятора:

$$P_ф = P\frac{293}{t_г^{\min} + 273} = 2000\frac{293}{201 + 273} = 1236 \text{ Па}.$$

Общие потери давления в сети ориентировочно можно определить по формуле:

$$P = 1{,}5 R_г \Sigma L \qquad (26)$$

где 1,5 – коэффициент, учитывающий потери давления на местные сопротивления;

$R_г$ - потери давления на трение на расчетном участке сети с учетом температуры Теплоносителя, Па/п.м.

$$R_г = \left(\frac{293}{t_г + 273}\right)^{0{,}75} \cdot R \qquad (27)$$

где R – потери давления на трение на расчетном участке сети для стандартного воздуха, Па/п.м..

При $d_{тр}$ = 400 мм и $V_г$ = 16,0 м/с; R = 6,0 Па/п.м.

$$R_г = \left(\frac{293}{276+273}\right)^{0,75} \cdot 6,0 = 3,75 \text{ Па/п.м.}$$

$$P = 1,5 \cdot 3,75 \cdot 180 = 1012 \text{ Па} < 1236 \text{ Па}$$

Принятый типоразмер излучателя проходит по аэродинамическому расчету.

Максимальный часовой расход газа:

$$G_{газ}^{час} = \frac{3,6 \cdot Q_{\Sigma}^{деж}}{\eta_{тг} \cdot Q_{н}^{р}} = \frac{3,6 \cdot 402400}{0,92 \cdot 33500} = 47 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Среднегодовой расход теплоты на отопление:

$$Q^{год} = 3,6 \cdot 10^{-6}\left[\frac{Q_{\Sigma}(n-a)m(t_в - t_{н.ср})}{t_в - t_н} + \frac{Q_{\Sigma}^{деж}(5 - t_{н.ср})(24n - nm + am)}{5 - t_н}\right] =$$

$$= 3,6 \cdot 10^{-6}\left[\frac{250300(213-61)16(16+3,6)}{16+26} + \frac{402400(5+3,6)(24 \cdot 213 - 213 \cdot 16 + 61 \cdot 16}{5+26}\right] =$$

$$= 1818 ГДж$$

Среднегодовой расход газа:

$$Q_{газ}^{год} = \frac{Q^{год}}{\eta_{тр} \cdot Q_{h}^{р}} \cdot 10^6 \cdot \frac{2100 \cdot 10^6}{0,92 \cdot 33500} = 53130 \text{ м}^3$$

Температура воздуха в рабочей зоне:

$$t_{р.з.} = t_в - \Delta t = 16 - 2,8 = 18,8^{\circ} \text{ С.}$$

Схема расположения системы лучистого отопления представлена на рис. 9.

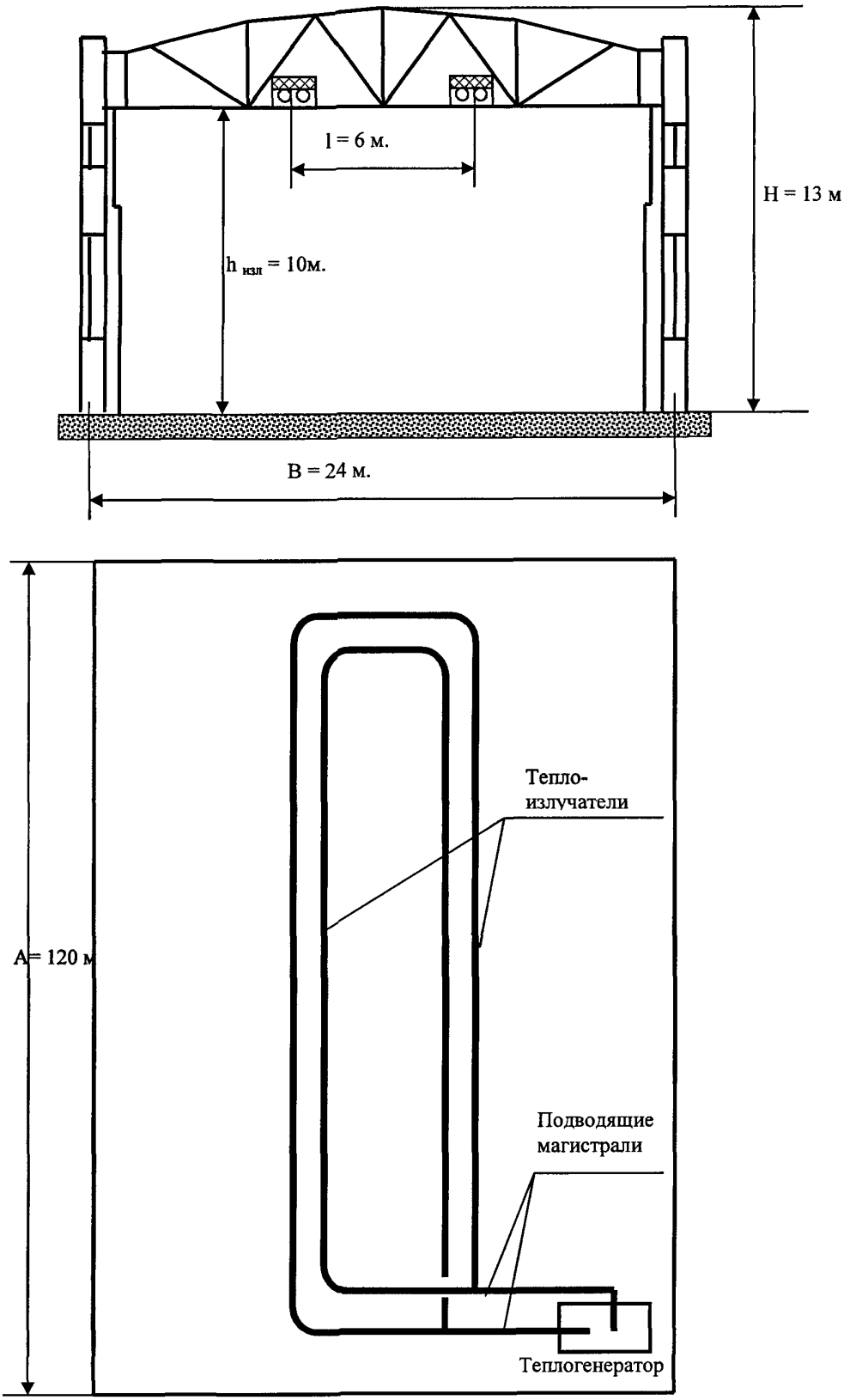


Рис. 9. Схема расположения теплоизлучателей (к примеру расчета)

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.005-76. Воздух рабочей зоны.

2. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

3. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата.

4. Подвесные теплоизлучающие панели. Выпуск 0 – Технические характеристики и данные для подбора. Выпуск 1-1 – Газовоздушные теплоизлучатели (рабочие чертежи). – М., ГПИ Сантехпроект, 1988.

5. СНиП 2.04.05-91*. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

6. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Стройиздат, 1992.

gost.e-ecolog.ru