

УДК 697.7

А.Ф. РЕДЬКО, д-р техн. наук, проф.

Н.Н. БОЛОТСКИХ, канд. техн. наук

Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ГАЗОВЫМИ ТРУБЧАТЫМИ ИНФРАКРАСНЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ

Описаны разработанные усовершенствованные трубчатые инфракрасные нагреватели и методика расчета систем отопления с их использованием.

Ключевые слова: *энергосбережение, трубчатые инфракрасные нагреватели, интенсивность облучения, рабочая зона.*

Описано розроблені вдосконалені трубчасті інфрачервоні нагрівачі та методика розрахунку систем опалення з їх використанням.

Ключові слова: *енергозбереження, трубчасті інфрачервоні нагрівачі, інтенсивність опромінення, робоча зона.*

Введение и постановка проблемы

Для отопления производственных помещений ежегодно расходуется большое количество энергетических ресурсов. В условиях их ограниченности и высокой стоимости проблема энергосбережения для нашей страны является актуальной. В качестве одного из перспективных способов снижения энергетических затрат принята децентрализация источников теплоснабжения. С этой целью в последнее время все большее распространение получает лучистое отопление с использованием газовых трубчатых инфракрасных нагревателей. Несмотря на ряд весьма существенных преимуществ этот вид отопления в Украине и странах СНГ еще не нашел широкого и эффективного применения.

В Украине и зарубежом исследованиями лучистого отопления занимаются уже продолжительное время. Большая часть исследований касается систем отопления с высокотемпературными «светлыми» газовыми нагревателями и только ряд авторов [1, 2, 3, 4, 5, 6] посвятили свои научные труды газовым трубчатым инфракрасным нагревателям.

Некоторые авторы при расчетах систем лучистого отопления интенсивность облучения в отапливаемом пространстве принимают как среднюю величину по площади помещения и сравнивают ее с нормативной. При расчетах систем отопления с трубчатыми нагревателями такой подход мало эффективен, так как интенсивность облучения в пределах рабочей зоны при их работе изменяется весьма существенно. Ряд разработок и методик необходимо дальше уточнять, развивать и совершенствовать применительно к условиям отопления производственных помещений больших размеров.

Для дальнейшего расширения внедрения систем газового инфракрасного отопления производственных помещений в нашей стране необходимо дополнительно провести комплекс теоретических и экспериментальных исследований. Эти исследования должны быть направлены на совершенствование систем отопления на базе инфракрасных трубчатых нагревателей в направлении повышения их энергетической эффективности, а также получения экспериментально-проверенной методики их расчета, обеспечивающей достижение комфортных параметров микроклимата на рабочих местах при минимальных энергозатратах.

Цель статьи

Снижение энергетических затрат при отоплении производственных помещений больших размеров газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями путем совершенствования их конструкций и методики расчета.

Основная часть

В настоящее время для отопления помещений производственных предприятий

все большее распространение получают трубчатые газовые инфракрасные нагреватели, выпускаемые преимущественно ведущими зарубежными фирмами Франции, Америки, Германии, Венгрии, Италии, Словакии. Поставляемые ими на рынок Украины нагреватели отличаются друг от друга прежде всего номинальной тепловой мощностью, геометрическими параметрами и конструктивным исполнением, системами автоматизации их работы и, конечно же, стоимостью. Несмотря на эти различия общим у них является наличие: одной либо нескольких блоков газовых горелок, излучающей трубы и рефлектора (отражателя). Эти нагреватели при правильном их выборе обеспечивают надежное отопление как в целом производственных помещений больших размеров, так и отдельных рабочих зон, находящихся в этих помещениях (локальное отопление).

Идея инфракрасного трубчатого газового обогревателя довольно проста. В трубе (линейной или U-образной) происходит контролируемое сжигание природного газа. Продукты сгорания, перемещаясь по излучающей трубе, лучистым и конвективным путями, отдают тепло в окружающее пространство. При этом лучистая составляющая этого тепла рефлектором направляется в рабочую зону отапливаемого помещения.

Поток теплового излучения, попадая на пол помещения, а также на оборудование, конструкции и материалы, находящиеся на нем в зоне облучения, нагревает их до температуры выше окружающей температуры воздуха. Нагретый пол, оборудование, конструкции и материалы полученное тепло трансформируют в конвективный тепловой поток, в результате чего нагревается воздух, находящийся в помещении.

Наиболее совершенные конструкции инфракрасных трубчатых нагревателей в конечном итоге за счет прямого излучения и отражения обеспечивают лучистую составляющую в пределах 75-85%. Конвективная составляющая тепла от нагревателей в большей части поступает в верхнюю зону помещения. Потери этого конвективного тепла можно снизить за счет организованного забора нагретого воздуха от нагревателя и направления его в зону пребывания людей в помещении. При этом направление теплого воздуха в рабочую зону не только снижает общие теплопотери, но и увеличивает температуру воздуха в области пребывания людей и в конце концов снижает расход газа на отопление. Таким образом, с реализацией этого предложения можно использовать эффективно не только тепло излучения, но и тепло воздуха, нагретого излучающей трубой и отражателем.

С использованием этой идеи в ХГТУСА разработана схема нового инфракрасного трубчатого нагревателя, защищенного Патентом Украины на изобретение № 87028 [7]. На базе этого изобретения создан усовершенствованный трубчатый инфракрасный нагреватель (рис. 1).

В этой конструкции для сбора и отвода нагретого воздуха в рабочую зону предусмотрен специальный собирающий зонт и каналный вентилятор. В качестве базового варианта при разработке усовершенствованной конструкции были приняты трубчатые нагреватели типа «TL. E36 SOLARTUBE» (Франция), широко используемые в практике отопления производственных помещений. Эти нагреватели имеют номинальную мощность 36 кВт. Их ширина составляет 380 мм, высота 165 мм и длина 12,7 м.

В верхней части этого нагревателя монтируется специальный зонт, который запроектирован из трех секций длиной по 4 метра каждая. Секция изготавливается из профилированного листа (для придания ей необходимой жесткости). Соединение секций между собой фланцевое, что облегчает их быстрый монтаж. Ширина зонта по контуру его внутренней поверхности составляет около 1200 мм, т.е. примерно в 3 раза превышает ширину рефлектора серийно-выпускаемого нагревателя. Такие размеры зонта позволяют принять максимальную часть нагретого воздуха (конвективного тепла). В верхней части каждой секции (примерно посередине) предусмотрены патрубки диаметром 100 мм для подсоединения отводящих нагретый воздух трубопроводов.

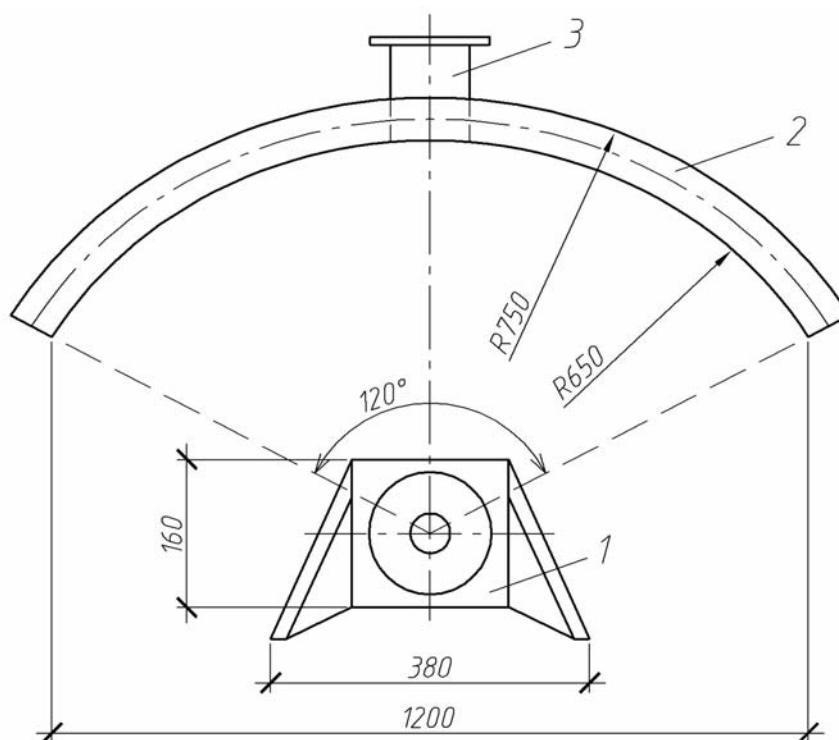


Рис. 1. Схема усовершенствованного трубчатого инфракрасного нагревателя:
1 – серийно-выпускаемый трубчатый нагреватель; 2 – зонт; 3 – патрубок

Три таких вентиляционных трубы от трех секций объединяются в один вертикальный канал круглого сечения диаметром 150 мм. По ходу канала установлен вентилятор марки К/КV 1450/160 XL Systemair. Его потребляемая мощность составляет 105 Вт. На нижнем обрезе вентиляционного канала устанавливается шибер. Высота его установки 0,8-1,2 м от уровня пола.

Зонт газового нагревателя монтируется в его верхней части и крепится, например, к нижним поясам существующих железобетонных ферм перекрытия здания. Профилированный лист зонта крепится на крайних опорах в каждой волне, а на промежуточных – через волну самонарезающими болтами или винтами. Вдоль кромок настил соединяется между собой комбинированными заклепками с шагом 500 мм. Расположение воздухоотводящих трубопроводов, вентилятора и шибера, как правило, уточняется по месту. С использованием зонта ожидается возврат в рабочую зону до 15% тепла, обычно теряемого через перекрытия производственных помещений.

Разработанный усовершенствованный трубчатый нагреватель ОАО «Харьковгаз» принят к внедрению для отопления помещения авторемонтной мастерской Безлюдовской промплощадки в г. Харькове.

Эффективность применения систем отопления газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями, в том числе и усовершенствованной конструкции, в значительной степени зависит от правильности их выбора, расчета их количества, схем их размещения, т.е. иначе говоря, от применяемой методики их расчета.

В ХГТУСА разработана усовершенствованная методика расчета систем отопления производственных помещений больших размеров с использованием трубчатых газовых инфракрасных нагревателей. Сущность этой методики излагается ниже.

Для случая отопления производственного помещения с использованием усовершенствованных трубчатых нагревателей, разработана физическая модель теплового режима представленная на рис. 2.

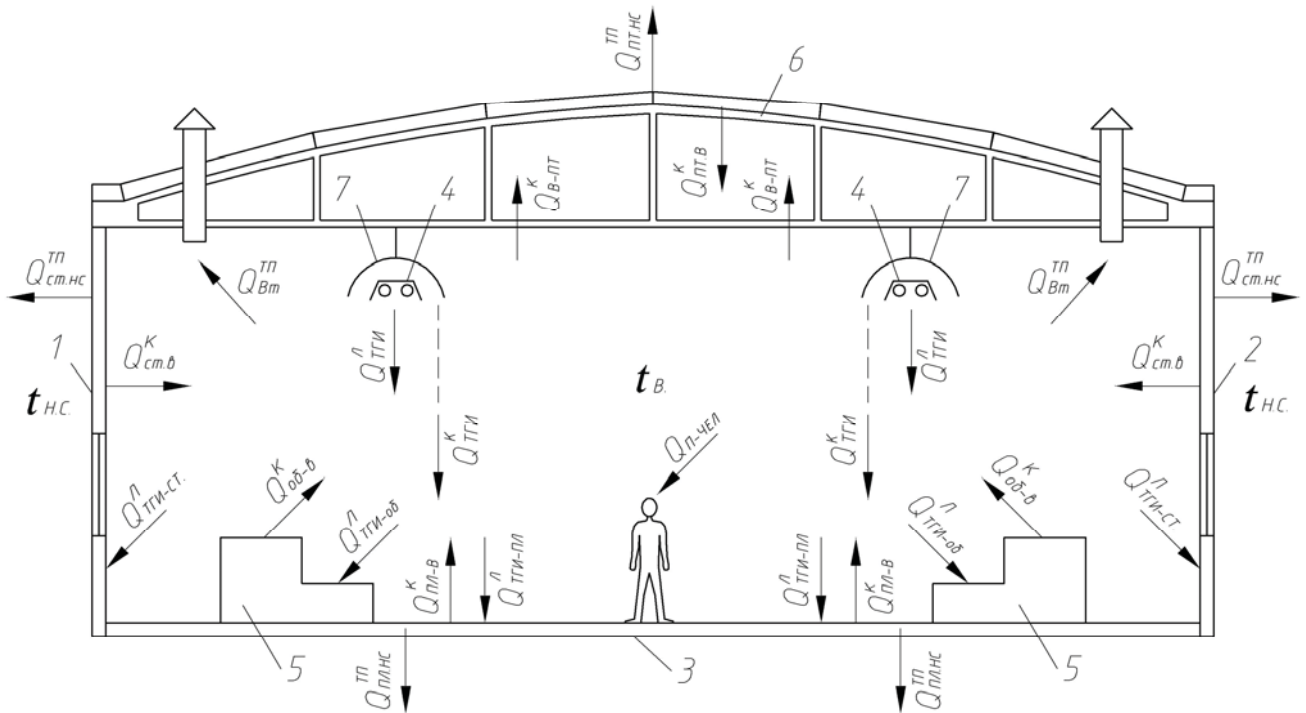


Рис. 2. Схема теплообмена в помещении, отапливаемом усовершенствованными энергосберегающими газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями: 1 – левая стена; 2 – правая стена; 3 – пол; 4 – газовые инфракрасные нагреватели; 5 – оборудование; 6 – потолок; 7 – специальные зонты нагревателей.

Эта модель учитывает две составляющие теплоотдачи от нагревателей: лучистую и конвективную.

С использованием обычных серийно-выпускаемых трубчатых нагревателей конвективная составляющая теплоотдачи от них поступает преимущественно вверх помещения, т.е. в пространство между уровнем их подвески и потолком помещения. При использовании же усовершенствованных конструкций нагревателей эта конвективная составляющая тепла задерживается зонтом и с помощью канального вентилятора подается в рабочую зону (см. рис. 2).

Математической моделью теплового режима в данном случае является система уравнений тепловых балансов, записываемая в виде:

$$Q_{тги-пт}^л + Q_{пт-пл}^л + Q_{пт-ст}^л + Q_{пт-тги}^л + Q_{пт-в}^к + Q_{пт-нс}^{тп} = 0 \quad (1)$$

$$Q_{тги-ст.1}^л + Q_{ст.1-пл}^л + Q_{ст.1-пт}^л + Q_{ст.1-тги}^л + Q_{ст.1-в}^к + Q_{ст.1-нс}^{тп} = 0 \quad (2)$$

$$Q_{тги-ст.2}^л + Q_{ст.2-пл}^л + Q_{ст.2-пт}^л + Q_{ст.2-тги}^л + Q_{ст.2-в}^к + Q_{ст.2-нс}^{тп} = 0 \quad (3)$$

$$Q_{тги-ст.3}^л + Q_{ст.3-пл}^л + Q_{ст.3-пт}^л + Q_{ст.3-тги}^л + Q_{ст.3-в}^к + Q_{ст.3-нс}^{тп} = 0 \quad (4)$$

$$Q_{тги-ст.4}^л + Q_{ст.4-пл}^л + Q_{ст.4-пт}^л + Q_{ст.4-тги}^л + Q_{ст.4-в}^к + Q_{ст.4-нс}^{тп} = 0 \quad (5)$$

$$Q_{тги-пл}^л + Q_{пл-пт}^л + Q_{пл-ст}^л + Q_{пл-тги}^л + Q_{пл-в}^к + Q_{пл-нс}^{тп} = 0 \quad (6)$$

$$Q_{тги-пл}^л + Q_{тги-пт}^л + Q_{тги-ст.1-4}^л + Q_{тги-об}^л + Q_{тги-в}^л + Q_{тги-в}^к = Q_0 \quad (7)$$

$$Q_{тги-в}^к + Q_{тги-в}^л + Q_{об-в}^к + Q_{ст.1-4-в}^к + Q_{пл-в}^к + Q_{в}^и + Q_{в-вт}^{тп} = 0 \quad (8)$$

$$q_{\text{сум}}^{\text{max}} \leq [q] \quad (9)$$

$$t_{\text{эф}} = t_{\text{в}} + 0,0716 \cdot q_{\text{сум}}^{\text{max}} = [t_{\text{опт}}] \quad (10)$$

В представленных системах уравнений приняты следующие сокращения и обозначения: тп – тепловые потери; тги – трубчатый газовый излучатель; пт- потолок; пл – пол; ст – стена; в – воздух; л – лучистый; к – конвективный; ст.1, ст.2, ст.3 и ст.4 – стена первая, вторая, третья и четвертая; нс – наружная среда; об – оборудование; и – инфильтрационный; вт – вентиляция; Q_0 – тепловая мощность системы отопления; $Q_{\text{тги-в}}^{\text{л}}$ – поглощение теплового излучения влажным воздухом; $t_{\text{эф}}$ – температура теплоощущения человека, °С; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении, °С; 0,0716 – экспериментальный коэффициент, полученный западногерманской фирмой «Шванк», (м²·°С)/Вт; $q_{\text{сум}}^{\text{max}}$ – максимальная интенсивность облучения, Вт/м²; [q] – допускаемые значения интенсивности облучения, Вт/м²; [t_{опт}] – оптимальная температура воздуха, регламентированная ГОСТом 12.1.005-88 [10] в зависимости от периода года и категории работ, выполняемых в помещении, °С.

Уравнения (1)÷(8) описывают тепловые балансы: (1) – на поверхности потолка; (2)÷(6) – на поверхностях всех ограждающих стен и пола; (7) – инфракрасных нагревателей; (8) – воздуха в помещении. Уравнение (9) описывает баланс между фактическим и допускаемым ГОСТом 12.1.005-88 [10] значениями интенсивности облучения в рабочей зоне отапливаемого помещения и названо нами уравнением радиационного комфорта. Уравнение (10) представляет собой баланс температур теплоощущения человека и допустимой ГОСТом оптимальной температурой в рабочей зоне помещения и названо нами уравнением теплового комфорта.

Приведенная система уравнений тепловых балансов является более совершенной и отличается от известных опубликованных систем балансов следующими особенностями:

1. Учтена специфика отопления помещения трубчатыми инфракрасными нагревателями (непостоянство температуры поверхности излучающей трубы вдоль ее оси, неравномерность распределения интенсивности облучения в рабочей зоне).

2. В систему тепловых балансов включены впервые два уравнения радиационного (9) и теплового (10) комфорта, призванные обеспечивать соблюдение требований ГОСТа 12.1.005-88 по созданию оптимальных параметров микроклимата в рабочей зоне отапливаемого помещения при минимальных энергозатратах.

3. В системе балансов в основу расчета впервые принято максимальное суммарное значение интенсивности облучения на уровне головы человека в рабочей зоне вместо среднего значения облученности поверхности пола помещения, принимаемого ранее практически в большинстве известных методиках расчета.

При проведении исследований были приняты следующие допущения:

1. Степень черноты всех внутренних поверхностей производственных помещений имеет высокие значения, позволяющая пренебречь отражением от них лучистых потоков ($Q_{\text{ст.1-4}}^{\text{л}}$, $Q_{\text{пт}}^{\text{л}}$ и $Q_{\text{пл}}^{\text{л}} = 0$).

2. Тепловое излучение с поверхности нагревателя в верхнюю зону помещения весьма мало ($Q_{\text{тги-пт}}^{\text{л}} = 0$).

3. Воздушная среда в помещении рассматривается как диффузно-серый мало поглощающий тепловое излучение газ ($Q_{\text{тги-в}}^{\text{л}} = 0$).

4. Тепловые потоки к человеку и от него в производственном помещении, имеющем большие размеры, по своей абсолютной величине в сравнении с основными потоками тепла невелики, поэтому они в уравнениях тепловых балансов не учитываются.

С учетом этих допущений система уравнений тепловых балансов может быть существенно упрощена и записана в виде

$$Q_{в-пт}^к + Q_{пт-нс}^{тп} = 0 \quad (11)$$

$$Q_{тги-ст.1}^л + Q_{ст.1-в}^к + Q_{ст.1-нс}^{тп} = 0 \quad (12)$$

$$Q_{тги-ст.2}^л + Q_{ст.2-в}^к + Q_{ст.2-нс}^{тп} = 0 \quad (13)$$

$$Q_{тги-ст.3}^л + Q_{ст.3-в}^к + Q_{ст.2-нс}^{тп} = 0 \quad (14)$$

$$Q_{тги-ст.4}^л + Q_{ст.4-в}^к + Q_{ст.4-нс}^{тп} = 0 \quad (15)$$

$$Q_{тги-пл}^л + Q_{тги-об}^л + Q_{пл-в}^к + Q_{пл-нс}^{тп} = 0 \quad (16)$$

$$Q_{тги-пл}^л + Q_{тги-ст.1-4}^л + Q_{тги-об}^л + Q_{тги-в}^к = Q_o \quad (17)$$

$$Q_{тги-в}^к + Q_{об-в}^к + Q_{пл-в}^к + Q_{ст.1-4-в}^к + Q_v^и + Q_{вт}^{тп} = 0 \quad (18)$$

$$q_{сум}^{max} \leq [q] \quad (9)$$

$$t_{эф} = t_e + 0,0716 \cdot q_{сум}^{max} = [t_{opt}] \quad (10)$$

Анализ уравнений (11) – (18) тепловых балансов в помещении, отапливаемом усовершенствованными трубчатыми инфракрасными нагревателями, показывает, что эффективность системы отопления в первую очередь зависит от величины потерь тепла через ограждающие конструкции

$$(Q_{пт-нс}^{тп}, Q_{ст.1-нс}^{тп}, Q_{ст.2-нс}^{тп}, Q_{ст.3-нс}^{тп}, Q_{ст.4-нс}^{тп}, Q_{пл-нс}^{тп}),$$

а также потерь тепла на нагрев воздуха, поступающего в помещение за счет инфильтрации ($Q_v^и$) и за счет работающей системы вентиляции ($Q_{вт}^{тп}$). В отличие от систем с серийно-выпускаемыми инфракрасными нагревателями в данном случае конвективная составляющая теплоотдачи от нагревателей ($Q_{тги-в}^к$) не теряется, а используется для нагрева воздуха в рабочей зоне помещения [см. уравнение (18)].

Величины расходов тепла (Q), включенных в приведенные выше системы уравнений тепловых балансов, могут быть определены по следующим формулам. Тепло, передаваемое лучистым путем от нагревателя [4].

$$Q_{тги}^л = c_o \cdot \xi_{1-2} \cdot H_{1-2} \left[\left[\frac{T_1(L)}{100} \right]^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (19)$$

где c_o – коэффициент излучения абсолютно черного тела, (Вт/(м²К));

ξ_{1-2} – приведенная степень черноты участвующих в теплообмене поверхностей;

H_{1-2} – взаимная площадь излучения поверхностей, м²;

$T_1(L)$ – температура излучающей трубы, К; T_2 – температура тепловоспринимающей поверхности, К.

Конвективный тепловой поток от ограждающих конструкций к воздуху

$$Q_{\text{ст-в}}^{\text{к}} = \alpha \cdot F_c \cdot (t_{\text{ст.1}} - t_{\text{в}}^{\text{р}}), \quad (20)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); F_c – площадь поверхности стены, м²;

$t_{\text{ст.1}}$ – температура внутренней поверхности ограждающей стены, °С; $t_{\text{в}}^{\text{р}}$ – расчетная температура воздуха в помещении, °С.

Потери тепла через ограждающие конструкции

$$Q = (1/R) \cdot F_o \cdot (t_{\text{в}}^{\text{р}} - t_{\text{н.с.}}) (1 + \Sigma \beta) \cdot n \cdot 10^{-3}, \quad (21)$$

где F_o – расчетная площадь ограждающей конструкции, м²;

R – сопротивление теплоотдачи ограждающей конструкции, м²·°С/Вт;

$t_{\text{н.с.}}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С;

n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции;

β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь, определяемые по СНиПу 2.04.05-91 (Изменение № 1) [11].

Расход тепла на нагревание инфильтрующегося воздуха

$$Q_{\text{в}}^{\text{и}} = 0,28 \Sigma G \cdot c (t_{\text{в}}^{\text{р}} - t_{\text{н.с.}}) \cdot K, \quad (22)$$

где G – расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч;

c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);

K – коэффициент, принимаемый по СНиПу 2.04-05-91 [11].

Подставляя зависимости (19)÷(22) в системы уравнений балансов, получаем полную математическую модель теплового состояния помещения с инфракрасным отоплением усовершенствованными нагревателями. Эта модель используется для анализа теплового режима и выводов необходимых расчетных зависимостей.

Решение представленных выше систем уравнений в общем виде громоздко и трудоемко. Их целесообразно решать для конкретных помещений, а также конструкций и схем размещения трубчатых инфракрасных нагревателей. В случае необходимости проведения ориентировочных расчетов температуру поверхности излучающей трубы принимают как среднее значение между начальной и конечной. Для получения необходимых зависимостей и методики более точного расчета температуры наружной поверхности излучающей трубы в ХГТУСА проведены дополнительные исследования [8, 9].

Значения температуры наружной поверхности излучающей трубы вдоль ее оси могут быть получены после решения дифференциального уравнения теплопередачи от горячих продуктов сгорания воздуху в отапливаемом помещении, записываемого на основании закона Ньютона-Рихмана в общем виде

$$W \cdot dt = - K_T (t - t_{\text{в}}^{\text{р}}) \cdot dL, \quad (23)$$

где W – общая расходная теплоемкость продуктов сгорания, Вт/К;

K_T – местный коэффициент теплопередачи на единицу длины, Вт/м;

t – температура продуктов сгорания, °С; $t_{\text{в}}^{\text{р}}$ – расчетная температура воздуха в помещении, °С;

L – длина излучающей трубы, м.

Для определения местного коэффициента теплопередачи K_T используются критерии подобия Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля [9].

С целью решения дифференциального уравнения (23), с учетом упомянутых выше критериев подобия, воспользуемся численным методом Адамса (программа ode 113) в системе MATLAB 7 [12]. С использованием встроенного языка программирования в системе MATLAB 7 для решения этого уравнения в ХГТУСА разработаны алгоритм и специальная компьютерная программа. Исходными данными для расчета являются длина, внутренний и наружный диаметры излучающей трубы, ширина отражателя, расстояние от оси трубы до плоскости отражателя, температуры теплоносителя на начальном участке трубы и воздуха в помещении, объемный расход продуктов сгорания.

На рис. 3 приведен график, построенный с использованием разработанной компьютерной программы для нагревателей с длиной трубы 8 м и диаметром 100 мм. Расход газа принят равным $5 \text{ м}^3/\text{ч}$, а температура продуктов сгорания в начале трубы равной $800 \text{ }^\circ\text{C}$.

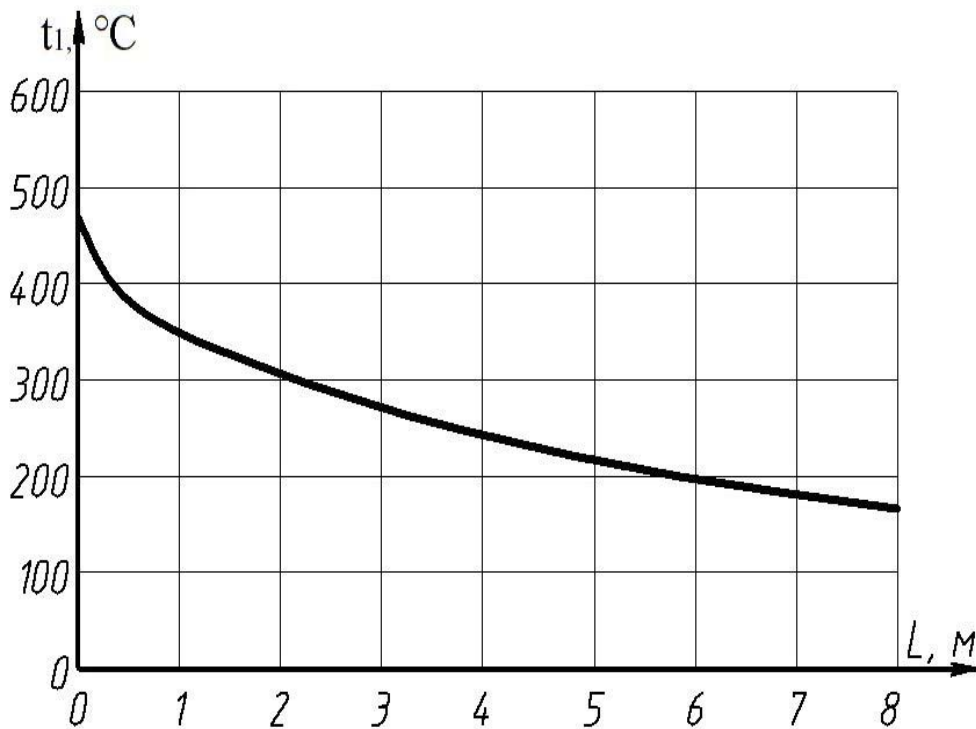


Рис. 3. График распределения температуры на наружной поверхности излучающей трубы вдоль ее оси

С целью нахождения значений интенсивности облучения на уровне головы человека с использованием законов Стефана-Больцмана и Ламберта аналитическим путем получен [9] интеграл

$$q = \int_0^{x'} \frac{1,8 \cdot S^* \cdot L \left[\left(\frac{t(x') + 273}{100} \right)^4 - 92 \right]}{\left[h^2 + \Delta Y^2 + (\Delta X - Lx')^2 \right]^2} \cdot h(h \cdot \cos \alpha + \Delta Y \cdot \sin \alpha) \cdot dx', \quad (24)$$

где h – высота подвески нагревателя, отсчитываемая от уровня головы человека, м;

ΔY – поперечное отклонение головы человека от оси нагревателя, м;

ΔX – продольное расстояние от головы человека до точки подсоединения горелки к нагревателю, м;

S^* – ширина отражателя, м; $x' = \frac{l}{L}$ – относительная текущая координата;

l – текущая координата вдоль оси нагревателя, м;

α – угол наклона плоскости нагревателя, град.

Для получения значений интенсивности облучения необходимо решить интеграл (24). С этой целью воспользуемся пакетом программ численного интегрирования по методу Симпсона в системе MATLAB 7. С использованием встроенного языка программирования в системе MATLAB 7 в ХГТУСА разработаны алгоритм и специальная компьютерная программа расчета интенсивности облучения на уровне головы человека одним трубчатым инфракрасным нагревателем. Эта программа позволяет рассчитывать величины и строить графики и поверхности распределения интенсивности облучения. При расчете интенсивности облучения используются упомянутые выше методика и компьютерная программа расчета температуры наружной поверхности трубы. Дополнительными исходными данными для расчета являются: длина и ширина отражателя, высота подвеса и угол наклона нагревателя.

С использованием метода суперпозиции в ХГТУСА разработаны также методика и компьютерная программа расчета и построения эпюр суммарной облученности на уровне головы человека в любой точке помещения при отоплении его несколькими трубчатыми инфракрасными нагревателями. На рис. 4, для примера, приведена эпюра суммарной интенсивности облучения в поперечном сечении помещения шириной 20 м, отапливаемого двумя горизонтально подвешенными трубчатыми нагревателями на расстоянии 5 м от стен.

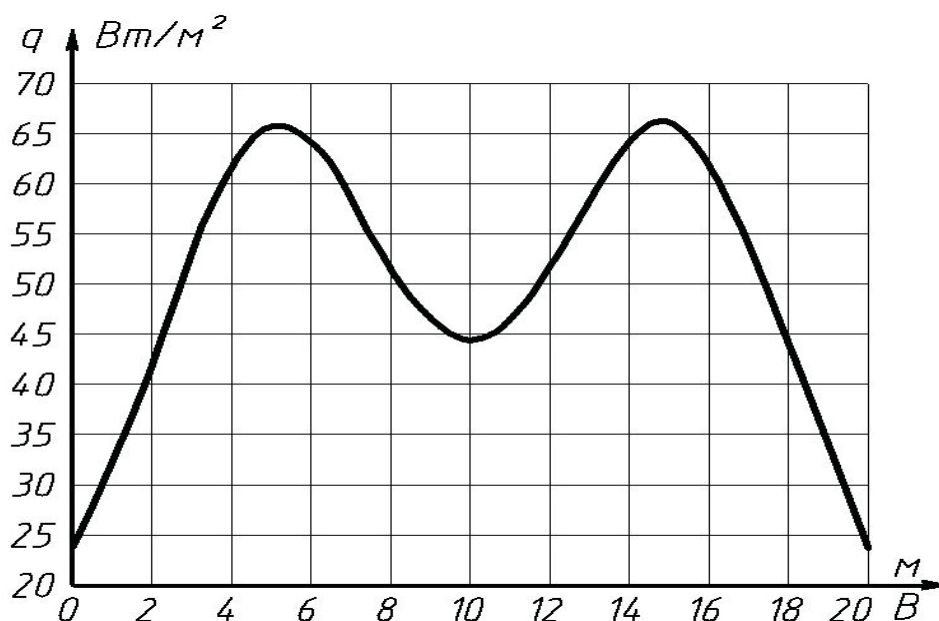


Рис. 4. Эпюра суммарной интенсивности облучения на уровне головы человека в поперечном сечении помещения

С целью проверки соответствия разработанных зависимостей и компьютерных программ были проведены экспериментальные исследования в г. Харькове в производственных помещениях заводов «Турбоатом», им. Фрунзе, машиностроительного предприятия ЧП «Спецкран» и Харьковской кондитерской фабрики.

Сопоставление экспериментальных и теоретических значений температуры наружной поверхности излучающей трубы и интенсивности облучения показывает, что среднее их отклонение составляет, соответственно, 5,64% и 5,3%. С учетом этого можно сделать вывод о том, что разработанные формулы, методики и компьютерные программы могут быть

использованы для инженерных расчетов систем отопления трубчатыми инфракрасными нагревателями [9].

На базе результатов выполненных теоретических и экспериментальных исследований систем отопления трубчатыми инфракрасными нагревателями с учетом ряда рекомендаций и выводов, полученных институтом газа НАН Украины [1], а также профессорами В.Ф. Иродовым [2] и Р.Н. Шумиловым [4], разработана усовершенствованная методика расчета, алгоритм которой приведен на рис. 5.

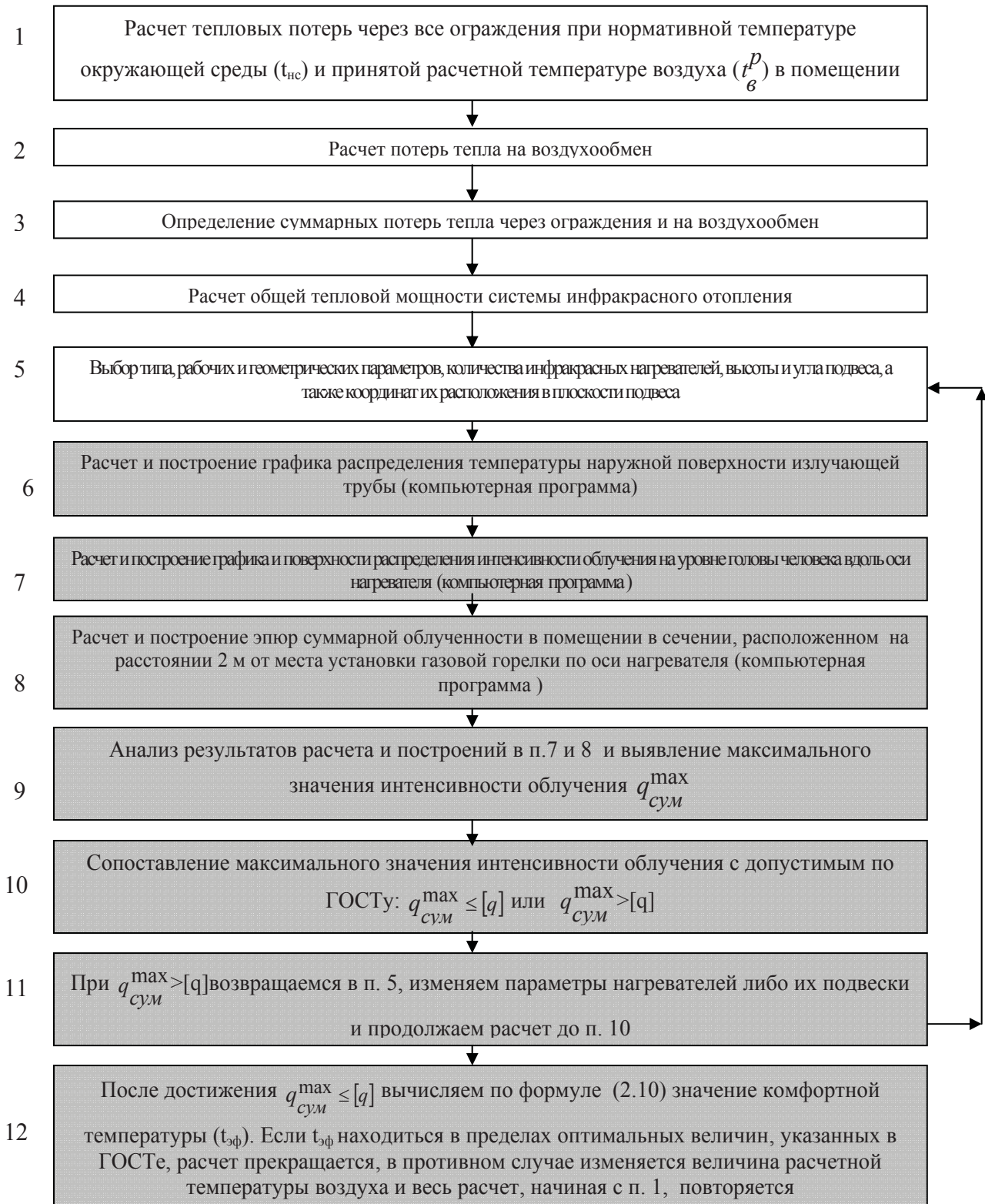


Рис. 5. Алгоритм усовершенствованной методики расчета систем отопления газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями

Первые пять этапов расчета (на рис. 5 – светлые) выполняются по аналогии с ранее общепринятой методикой, а начиная с п. 6 по п. 12 – предложены автором работы (на рис. 5 – затемнены). Согласно представленного алгоритма первоначально выполняется расчет теплопотерь через все ограждающие конструкции (перекрытие, стены, пол). При этом расчетную температуру воздуха в помещении из-за наличия лучистой добавки следует принимать на $3\div 5$ °С ниже, чем при конвективном отоплении.

Приведенная усовершенствованная методика позволяет с помощью разработанных формул и компьютерных программ выполнить оперативно необходимые расчеты для обеспечения в помещении оптимальной температуры воздуха, значения интенсивности облучения ниже допустимого по ГОСТу и выбрать параметры нагревателей с минимально необходимой мощностью. Это позволяет также сократить расход газа на излишние нагрев воздуха и поддержание неоправданно высоких значений интенсивностей облучения в отапливаемом помещении.

Выводы

1. Широкое применение систем отопления производственных помещений больших размеров с помощью газовых трубчатых инфракрасных нагревателей является одним из перспективных направлений энергосбережения в промышленном производстве.

2. Созданная усовершенствованная конструкция трубчатого инфракрасного нагревателя позволяет существенно сократить потери конвективного тепла, одновременно обеспечивая при этом улучшение параметров микроклимата в рабочей зоне отапливаемого помещения.

3. Разработанная усовершенствованная методика рекомендуется для расчетов систем отопления производственных помещений газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями. Она позволяет обеспечивать на практике комфортные параметры микроклимата в рабочей зоне в соответствии с требованиями ГОСТа 12.1.005-88 при минимальных энергозатратах.

Список литературы

1. Семернин А. М., Семернина С. Д., Левченко А. А., Кузьмич А. М. Энергосберегающие технологии для отопления производственных помещений. Пром. теплотехника. – 2004. – Т.26. – № 3. – С.76–79.

2. Иродов В. Ф., Солод Л. В., Кобыща А. В. Математическое моделирование элементарного участка системы воздушно-лучистого отопления. Вісн. Придніпров. держ. акад. буд-ва та архітектури. – 2001. – № 4. – С.41–46.

3. Алексеев Г. Ф., Дрепин В. В., Яковлева И. Г. Оценка параметров системы обогрева с «трубчатыми» линейными (трубными) нагревателями. Изв. вузов. Строительство. 2002. № 1–2. С. 79–83.

4. Шумилов Р. Н., Толстова Ю. И., Поммер А. А. Совершенствование методики расчета лучистого отопления. Материалы Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». М.: МГСУ, 2005, С. 107–112.

5. Николаев Н. А., Зиганшин Б. М. Эффективность систем инфракрасного отопления в промышленности и энергетике. Труды Академэнерго. Казань. – 2006. – № 3. – С. 38–48.

6. Шиванов В. В. Обеспечение теплового режима производственных помещений системами газового инфракрасного отопления. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Нижний Новгород, 2007. – С.23.

7. Редько А. О., Болотских М. М. Пристрій для променевого опалювання. Патент України на винахід № 87028, с 2, F24D 10/00, F24D 15/00, F24C 15/00. Державний департамент інтелектуальної власності МОН України, Бюл. № 11, 10.06.2009.

8. Редько А. Ф., Ланцберг Н. Г., Болотских Н. Н. Расчет интенсивности облучения в производственных помещениях, отапливаемых темными газовыми инфракрасными нагревателями. Ж. «Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит». – 2009, № 5, С. 55–64.

9. Болотских Н. Н. Совершенствование методики расчета систем отопления газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями. Науковий вісник будівництва. Вип. 54. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. – С. 76–91.

10. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Система стандартов безопасности труда. Государственный стандарт СССР, 1988 (переиздан в мае 1991 г.).

11. Изменение № 1. СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Государственный Комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины, Киев, 1998. – 19 с.

12. Алексеев Е. Р., Чеснокова О. В. MATLAB 7. – М.: ИТ Пресс, 2006. – 464 с.

IMPROVING OF HEATING SYSTEM GAS TUBULAR INFRA-RED RADIA-TORS OF WORKSHOP

A.F.REDKO, Dr. Tech. Sci., professor
N.N. BOLOTSKYKH, Cand.Tech.Sieng
Kharkov state technical university construction and architecture

The advanced tubular infra-red radiators and methods of calculation of heating systems used with them are describe.

Поступила в редакцию 01.03 2010