



## Повышение эффективности отопления с помощью инфракрасных нагревателей



Юрий СИДОРОВ  
Yuri P. SIDOROV

Екатерина ТОЛЩИНА  
Ekaterina Yu. TOLSCHINA



*Сидоров Юрий Павлович – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).  
Толщина Екатерина Юрьевна – аспирант МИИТ.*

**В статье рассмотрены возможности использования лучистой системы отопления с применением инфракрасных газовых нагревателей в помещениях вагоноремонтного депо, а также способы и условия повышения энергоэффективности и экологичности отопительных средств.**

**В инфракрасных газовых нагревателях нужная температура на поверхности агрегата обеспечивается за счет сгорания газоздушной смеси внутри системы. Такой вариант делает теплопроцессы экологически более чистыми, чем в комплексах отопления, связанных со сгоранием газа в котельных установках.**

*Ключевые слова:* железная дорога, депо, система отопления, энергоэффективность, экологичность, инфракрасные газовые нагреватели, подвес излучателя, лучистый поток, условия эксплуатации.

**В** качестве объекта исследования было выбрано вагоноремонтное депо Люблино, расположенное на территории г. Москвы.

Производственное помещение имеет размеры  $100 \times 22 \times 10$  м. Суммарные расчетные теплотери при условии поддержания в цехе температуры  $t_{\text{в}} = 15^{\circ}\text{C}$  и наружной температуре  $t_{\text{н}} = -26^{\circ}\text{C}$  по результатам теплового баланса составили  $Q_{\text{пот}} = 210$  кВт.

Предел пониженной температуры в цехе на уровне  $t_{\text{в}} = 15^{\circ}\text{C}$  продиктован тем, что при использовании лучистой системы отопления за счет поступающего в рабочую зону лучистого потока условия теплового комфорта обеспечиваются при более низких по сравнению с нормами температурах.

Система лучистого отопления эффективнее конвективной, поскольку достигается более равномерное распределение температуры в объеме помещения, снижается подвижность воздуха, а следовательно, и его запыленность. Причем экономия тепловой энергии при этом составляет от 15 до 30%.

Инфракрасные нагреватели позволяют наладить быстрое регулирование

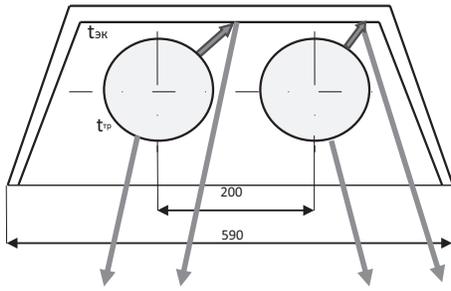


Рис. 2.

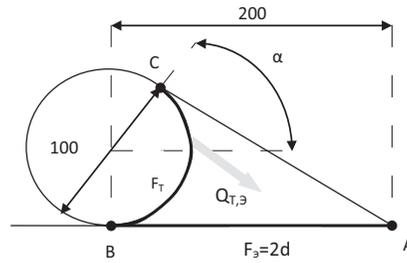


Рис. 1.

температуры в рабочей зоне помещения, поддерживать в различных его частях свой тепловой режим.

В инфракрасных газовых нагревателях (ИКГН) нужная температура на поверхности агрегата обеспечивается за счет сгорания газозвоздушной смеси внутри системы. Благодаря хорошо организованному теплопроцессу эти нагреватели являются экологически более чистыми, чем комплексы отопления, связанные со сгоранием газа в котельных установках. С учетом целого ряда положительных свойств газовые инфракрасные излучатели могут быть использованы для отопления любого типа помещений. Основной проблемой применения такого оборудования остается, тем не менее, необходимость соблюдения гигиенических нормативов, требующих ограничения температуры поверхности обогревателя и плотности лучистого потока, поступающего на уровне головы человека в рабочую зону. А это сопряжено с детальным расчетом как при выборе температуры на поверхности нагревателя, так и высоты его подвеса в помещении.

Выпускаемые сейчас ИКГН имеют различные температурные уровни. В темных ИКГН горение газа происходит в трубе, а продукты сгорания удаляются за пределы помещения через дымоходы. Температура на поверхности трубы этих излучателей не превышает  $600^{\circ}\text{C}$ , поэтому они могут быть применимы в помещениях с потолками даже до 5 м.

В нашем случае для отопления помещения вагонного депо были использованы ИКГН фирмы «Ново-Шванк» с единичной мощностью 15 кВт. Результаты расчета касались не только нужного количества излучателей, но и их высоты подвеса, при которой будут соблюдаться гигиенические условия по допустимой величине поступающего к голове человека удельного лучистого потока.

Для принятого к установке ИКГН-15 рабочая температура на поверхности трубы диаметром 100 мм изменяется от максимальной величины в зоне возгорания топлива  $600^{\circ}\text{C}$  до  $200^{\circ}\text{C}$  на выходе продуктов сгорания из нагревателя. Излучатель имеет размеры 3600 мм в длину и 590 мм в ширину. Расход природного газа при обеспечении номинальной мощности не выше 1,5–2,0 м<sup>3</sup>/ч в зависимости от типа используемого газа и его теплотворной способности. Лучистый КПД излучателя составляет не менее 54%.

С учетом теплотерь в помещении и единичной мощности излучателя к установке принимаем 14 единиц ИКГН-15, которые располагаются в два ряда вдоль боковых стен.

Для определения высоты подвеса источника тепла необходимо сравнить величину удельного лучистого потока, поступающего от излучателей на границу рабочей зоны, с максимально допустимой с биологической точки зрения пороговой величиной.

$$Q_{T,э} = \varphi_{T,э} * F_T * \sigma_0 \frac{(T_T)^4 - (T_э)^4}{1 + \varphi_{э,T} \left( \frac{1}{A_э} - 1 \right) + \varphi_{T,э} \left( \frac{1}{A_T} - 1 \right)}, \quad (1)$$





В решении берем температуру трубы в среднем по всей длине  $t_{тр} = 400^{\circ}\text{C}$  или  $T_{тр} = 673^{\circ}\text{K}$ .

Схема ИКГН-15 представлена в разрезе на рис. 1.

Часть лучистой энергии от труб идет на поверхность экрана, а другая часть в пространство помещения. Поступившая на экран энергия в свою очередь перемещается опять же в пространство помещения, но уже при иной температуре. Поэтому предварительно надо определить температуру на поверхности экрана. Для условий стационарного теплообмена результирующий поток между поверхностями труб и экрана находится из уравнения (1), где  $A_{\varepsilon}$ ,  $A_T$  — коэффициенты поглощения лучистой энергии экраном и трубой (принимаем 0,8);

$\sigma_0 = 5,7 \cdot 10^{-8}$  — постоянная Стефана-Больцмана;

$\phi_{T,\varepsilon}$ ,  $\phi_{\varepsilon,T}$  — угловые коэффициенты лучистого теплообмена между трубой и экраном и экраном и трубой соответственно;

$F_T$  — часть поверхности трубы, от которой лучистая энергия поступает на поверхность экрана.

Для определения угловых коэффициентов используется метод лучевой алгебры [1].

Схема процесса переноса лучистой энергии между поверхностью трубы и экраном представлена на рис. 2.

В соответствии с конструктивным расположением труб в излучателе длина отрезка АВ равна  $2d$ . Длина дуги ВС при  $\approx 60^{\circ}$  составляет  $3d$ . Рассматривая лучистый теплообмен между телами, ограниченными пространством АВС, можно определить [1]:

$$\phi_{\varepsilon,T} = 0,658.$$

На основании свойства взаимности угловых коэффициентов:

$$\phi_{T,\varepsilon} = \phi_{\varepsilon,T} \cdot \frac{F_{\varepsilon}}{F_T}.$$

С учетом излучения от двух труб

$$\phi_{T,\varepsilon} = 0,658 \cdot \frac{2d}{2 \cdot 1,3d} = 0,505.$$

$$Q_{изл,пом} = \frac{\phi_{изл,пов} \cdot F_{изл} \cdot \sigma_0 (T_{изл}^4 - T_{пов}^4)}{1 + \phi_{изл,пов} \left( \frac{1}{A_{изл}} - 1 \right) + \phi_{пов,изл} \left( \frac{1}{A_{пов,изл}} - 1 \right)} \quad (4)$$

Так как лучистый поток, поступающий от двух труб в пространство помещения, должен проходить через плоскость, замыкающую нижнюю часть излучателя, получим  $\phi_{T,пом} = 0,505$ .

Угловой коэффициент от поверхности экрана в помещение определяется на основании свойства замыкаемости угловых коэффициентов:

$$\phi_{\varepsilon,пом} = 1 - \phi_{\varepsilon,T} = 0,342.$$

В условиях стационарного теплового режима количество лучистой энергии, поступающей от излучающих труб к экрану, должно быть равно количеству энергии, отдаваемой экраном в пространство помещения:

$$Q_{T,\varepsilon} = Q_{\varepsilon,пом}.$$

Результирующий лучистый поток между экраном и пространством помещения представлен в виде

$$Q_{\varepsilon,пом} = F_{\varepsilon} \cdot \phi_{\varepsilon,пом} \cdot A_{\varepsilon} \cdot \sigma_0 (T_{\varepsilon}^4 - T_{пом}^4). \quad (2)$$

Совместное решение уравнений (1) и (2) позволяет определить величину  $Q_{\varepsilon,пом} = Q_{T,\varepsilon}$  и  $T_{\varepsilon}$  К.

Для принятых условий ( $T_T = 673^{\circ}\text{K}$ ;  $\phi_{T,\varepsilon} = 0,505$ ;  $\phi_{\varepsilon,T} = 0,658$ ;  $\phi_{\varepsilon,пом} = 0,342$ ;  $F_T = 1,82 \text{ м}^2$ ;  $F_{\varepsilon} = 2,065 \text{ м}^2$ ;  $T_{пом} = 293^{\circ}\text{K}$ ) находим  $Q_{\varepsilon,пом} = Q_{T,\varepsilon} = 3590 \text{ Вт}$  и  $T_{\varepsilon} = 582^{\circ}\text{K}$  ( $t_{\varepsilon} = 309^{\circ}\text{C}$ ).

При определении результирующего лучистого потока между поверхностью труб и пространством помещения используется уравнение

$$Q_{T,пом} = F_T \cdot \phi_{T,пом} \cdot A_T \cdot \sigma_0 (T_T^4 - T_{пом}^4). \quad (3)$$

В результате решения найдем  $Q_{T,пом} = 10300 \text{ Вт}$ .

Таким образом, суммарный лучистый поток, передаваемый от излучателя в помещение, составит  $Q_{изл,пом} = 13890 \text{ Вт}$ .

По полученной величине результирующего лучистого потока можно найти среднюю лучистую температуру излучателя  $t_{изл} = 347^{\circ}\text{C}$  ( $620^{\circ}\text{K}$ ).

Высота подвеса излучателей в помещении определяется при условии, что удельный лучистый поток, поступающий от всех установленных излучателей (14 шт.) на плоскость, расположенную на уровне верхней границы рабочей зоны, не превышает предельно допустимой величины

$$q_{\lambda}^{nad} \leq q_{\lambda}^{don}.$$

Последняя, согласно СНиП, принимается равной 100 Вт/м<sup>2</sup>.

Результирующий лучистый поток между излучателями и поверхностью, расположенной на уровне головы человека (1,7 м), определяется по формуле (4).

По результатам расчетов при высоте подвеса излучателей 4 м входящие в уравнение (4) величины имеют следующие значения:  $\phi_{\text{изл,пов}} = 0,602$ ;  $\phi_{\text{пов,изл}} = 0,0083$ ;  $F_{\text{изл}} = 29,7$  м;  $T_{\text{изл}} = 620^{\circ}$  К,  $T_{\text{пов}} = 293^{\circ}$  К.

Результирующий лучистый поток  $Q=125860$  Вт.

Удельный лучистый поток, приходящийся на поверхность площадью 2200 м<sup>2</sup>, расположенную на уровне головы человека, составит  $q_{\lambda}^{nad} = 57$  Вт/м<sup>2</sup>.

Вывод: при размещении 14 штук ИКГН-15 на высоте 4 м от пола величина лучистого потока на уровне головы человека не превышает предельно допустимой и удовлетворяет условиям СНиП.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Теплоэнергетика и теплотехника: общие вопросы: Справочник/ Под общ. ред. чл. – кор. АН СССР В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1987. – 456 с. ил.

2. Общая теплотехника. (Учеб. для неэнергет. спец. высш. техн. учеб. заведений). М. – Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 392 с. с черт.

3. Техническая термодинамика и теплопередача: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1980. – 469 с., ил. ●

## ENHANCEMENT OF EFFICIENCY OF HEATING SYSTEM WITH THE HELP OF INFRARED HEATER

*Sidorov, Yuri P. – D.Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

*Tolschina, Ekaterina Yu. – Ph.D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

*See the Russian climate there is always a task to find most efficient systems of heating of industrial sites in transport sector. The article considers possibility to use infrared gas heaters in car repair shed.*

*Radiation heating is more efficient if compared to convection system as it results in more even distribution of temperature in the premises, fast changing of temperature to the required level, reduces effects of airflows, and consequently the*

*dust level. It also saves at about 15-30% of heating power. These conclusions are substantiated by mathematical methods. The algorithms of correct installation are also shown.*

*It is proved that thanks to well-engineered heating process, infrared heaters are ecologically less harmful than heating systems with gas burning in boiler-houses. They are safe and conform to the job safety standards in effect.*

**Key words:** railway, car repair shed, heating system, energy effectiveness, ecological conformity, infrared gas heaters, radiator suspension, radiation flow, operation conditions.

## REFERENCES

1. Heat and Power Engineering and Heat Engineering: Common Issues: [Теплоэнергетика и Теплотехника: Общие вопросы]. Reference Book. Under the ed. of corresponding member of Soviet academy of sciences V. A. Grigoriev and V. M. Zorin, 2d ed., rev. Moscow, Energoizdat publ., 1987, 456 p.

2. General Heat Engineering [Общая Теплотехника]. Textbook for non-power technical high schools. Moscow, Leningrad, 1962, 392 p.

3. Technical Thermodynamics and Heat Transfer [Техническая термодинамика и теплопередача]. Textbook for higher schools. 3d ed. rev. and enlarged. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1980, 469 p.

Координаты авторов (contact information): Сидоров Ю.П. (Sidorov, Yuri P.) – +7-499-9730975, Толщина Е.Ю. (Tolschina, Ekaterina Yu.) – tosja-kruk@inbox.ru  
Статья поступила в редакцию / received 25.04.2012  
Принята к публикации / accepted 18.07.2012

