



Температурный режим цеха металлообработки при использовании системы отопления на базе водяных ИК-излучателей*

Проблема высокой энергоёмкости производственных помещений является крайне актуальной в текущих экономических условиях [1, 2]. В частности, высокое энергопотребление обеспечивают устаревшие и низкоэффективные системы отопления крупнообъёмных помещений — цехов, складов и т.д. Одним из путей решения этой проблемы является внедрение лучистых систем [3–6].

Применение систем лучистого отопления позволяет снизить затраты тепловой энергии без снижения уровня теплового комфорта. Отопительные приборы в таких системах располагаются на высоте и равномерно по горизонтальной плоскости помещения. Также, учитывая тот факт, что воздух является прозрачной средой для электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне, данные приборы производят нагрев воздуха помещения опосредованно, через нагрев облучаемых поверхностей. Таким образом, можно сделать вывод, что применение лучистой системы отопления способствует формированию более равномерного теплового режима в отапливаемом помещении [3–12].

Самым привлекательным, с точки зрения энергоэффективности, является отопление на базе газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) [7–12]. В данных системах отсутствует промежуточный теплоноситель, и теплота в помещение пода-

ётся напрямую от первичного энергоносителя — природного газа. Однако из-за того, что сгорание газозвдушной смеси производится непосредственно в объёме отапливаемого помещения, применение лучистых систем отопления на базе ГИИ ограничено.

Применение систем лучистого отопления позволяет снизить затраты тепловой энергии без снижения уровня теплового комфорта и способствует формированию более равномерного теплового режима в отапливаемом помещении

Ввиду вышеописанных особенностей ГИИ стоит рассмотреть другой энергоэффективный вид лучистого отопления — отопление на базе водяных инфракрасных излучателей (ВИИ). В качестве отопительных приборов в данных системах используются излучающие панели или профили. Теплоносителем в таких системах является горячая вода с температурой 40–150 °С. Стоит также отметить, что наиболее перспективным ВИИ является именно излучающий профиль, благодаря его меньшей металлоёмкости и большей удельной теплоотдаче [5–6].

* Данная статья является второй из планируемых трёх научных публикаций, посвящённых изучению теплового режима помещений, оборудованных энергоэффективными инновационными системами лучистого отопления на базе низкотемпературных инфракрасных излучателей. Первая статья была опубликована в журнале СОК №10/2019.

Рецензия эксперта на статью получена 22.06.2020 [Expert review on the article received on June 22, 2020].

УДК 697.7. Научная специальность: 05.23.03.

Температурный режим цеха металлообработки при использовании системы отопления на базе водяных инфракрасных излучателей

М. В. Бодров, д.т.н., заведующий кафедрой отопления и вентиляции, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ, г. Нижний Новгород); **Д. А. Кузнецов**, генеральный директор, ООО «Флайг + Хоммель» (г. Заволжье); **А. А. Смыков**, ассистент кафедры отопления и вентиляции ННГАСУ

Выполнено исследование системы лучистого отопления цеха металлообработки на базе водяных инфракрасных излучателей. Цель исследований заключалась в определении эффективности работы системы отопления и получении количественных данных, описывающих тепловой и температурный режим помещения.

Ключевые слова: теплофизика, водяное отопление, инфракрасное излучение, лучистое отопление, излучатель, температурный режим, отопление цеха, тепловая подушка, градиент температуры, тепловой режим.

UDK 697.7. The number of scientific specialty: 05.23.03.

Temperature mode of the metal workshop when using the heating system on the basis water infrared emitters

M. V. Bodrov, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Heating and Ventilation, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU, Nizhny Novgorod city); **D. A. Kuznetsov**, general director, "Flaig + Hommel", LLC (Zavolgie city); **A. A. Smykov**, Assistant, Department of Heating and Ventilation, NNGASU

A study of the radiant heating system of a metalworking workshop based on water infrared emitters was carried out. The purpose of the research was to determine the efficiency of the heating system and obtain quantitative data describing the thermal and temperature conditions of the room.

Key words: thermal physics, water heating, infrared radiation, radiant heating, emitter, temperature condition, workshop heating, thermal cushion, temperature gradient, thermal mode.

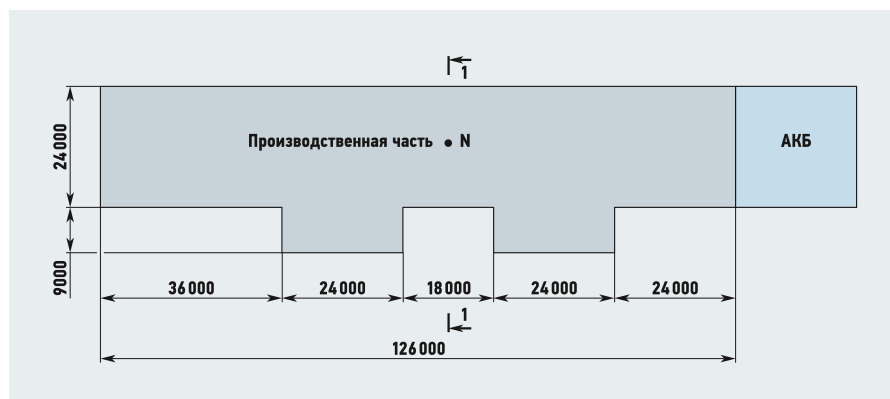


Рис. 1. Объект исследований

Объектом исследований теплового и температурного режима помещения, оборудованного системой лучистого отопления на базе ВИИ, стало производственное помещение — цех металлообработки компании ООО «Флайт + Хоммель», расположенный в городе Заволжье Нижегородской области (рис. 1).

В качестве отопительных элементов в ВИИ используются излучающие панели или профили. Теплоносителем в таких системах является горячая вода с температурой 40–150 °С. Наиболее перспективным ВИИ является именно излучающий профиль, благодаря его меньшей металлоёмкости и большей удельной теплоотдаче

На базе указанного помещения был выполнен ряд исследований: исследование фактического состояния параметров микроклимата, измерение температуры поверхности ограждающих конструкций, тепловизионное обследование помещения и состояния ограждающих конструкций. Основные характеристики объекта исследований: длина — 126 м, ширина от 24 до 33 м (с пристроями), высота по на-

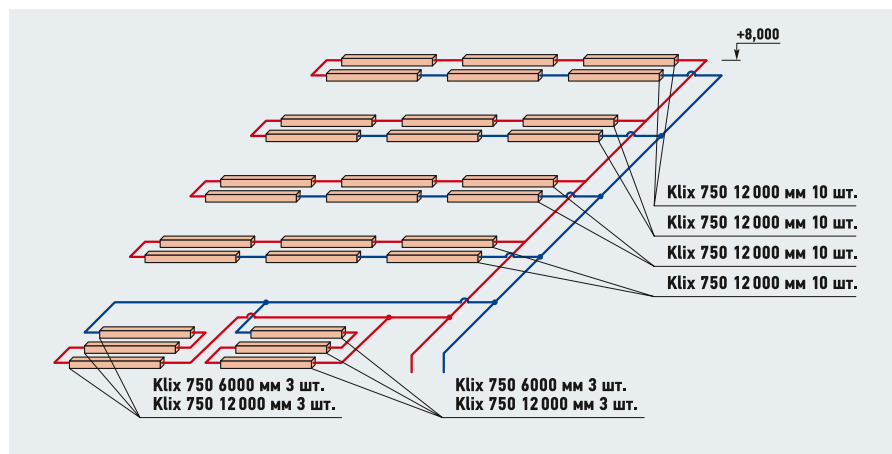


Рис. 2. Схематичное изображение системы отопления цеха

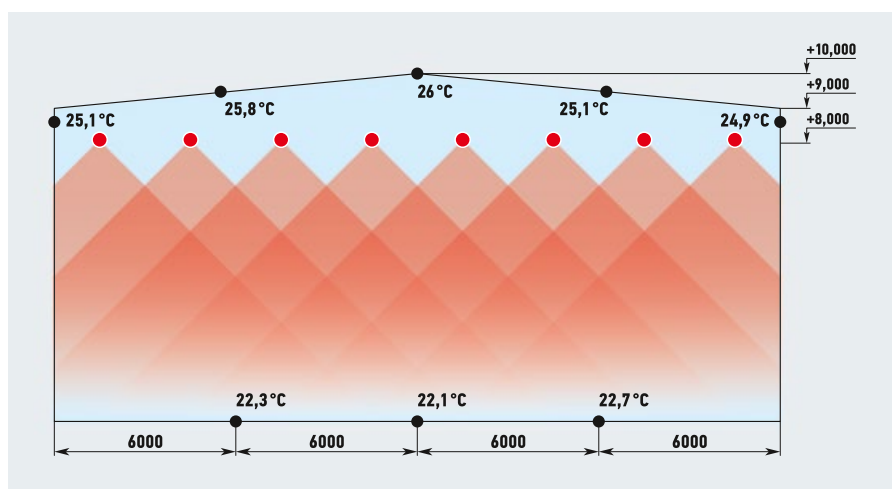


Рис. 3. Температурный режим ограждающих конструкций производственного помещения

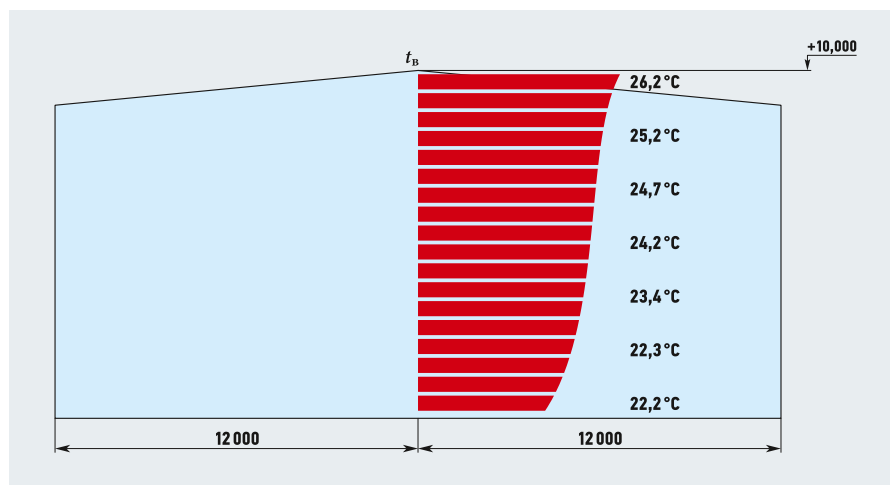


Рис. 4. Градиент температуры воздуха по высоте в исследуемом помещении

ружной стене — 9 м, высота в коньке — 10 м, площадь цеха — 3456 м², объём — 41 472 м³, пол — бетонный монолит, стены — сэндвич-панели. Система отопления помещения — лучистая, построена на базе ВИИ марки Klix 750 (рис. 2).

Исследование фактического состояния параметров микроклимата производилось с помощью термогигрометра testo 625 и термоанемометра testo 405.

Измерения производились в медианной точке помещения N (рис. 1) с интервалом в 15 минут.

Измерение температуры поверхности ограждающих конструкций производились инфракрасным термометром testo 830-T4. Для определения координат измеряемой точки использовался лазерный дальномер Bosch GLM 80.

Измерения производились в сечении 1–1 (рис. 1), результаты исследований приведены на рис. 3.

Также было исследовано изменение температуры воздуха в помещении с помощью термогигрометра марки testo 625. Измерения проводились в точке N, результаты приведены на рис. 4.

В рамках данного исследования было проведено тепловизионное обследование лучистой системы отопления на базе водяных инфракрасных излучателей и теплового режима наружных ограждающих конструкций.

Тепловизионная съёмка проводилась при помощи тепловизора testo 865 и была выполнена согласно ГОСТ [13].

Параметры среды во время проведения измерений: температура наружного воздуха — $t_n = -2^\circ\text{C}$; температура внутреннего воздуха — $t_v = 22,1^\circ\text{C}$; относительная влажность внутреннего воздуха — $\varphi_v = 35,1\%$; подвижность воздуха в помещении — $v_v = 0,1$ м/с. На момент проведения тепловизионной съёмки темпера-

Результаты исследования фактического состояния параметров микроклимата

табл. 1

Измеряемый параметр / № измерения	1	2	3	4	5
Температура наружного воздуха t_n , $^\circ\text{C}$	-2,1	-2,2	-1,8	-1,9	-1,6
Температура внутреннего воздуха t_v , $^\circ\text{C}$	22,1	21,8	21,8	22,2	22,4
Относительная влажность внутреннего воздуха φ_v , %	35,1	35,4	35,8	35,9	36,1
Подвижность воздуха в помещении v_v , м/с	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

тура в системе отопления, согласно данным контрольно-измерительных приборов в индивидуальном тепловом пункте, составляла $t_t = 55^\circ\text{C}$, $t_o = 37,5^\circ\text{C}$.

Было произведено несколько тепловизионных съёмок с последующим анализом полученных термограмм. Все полученные результаты были обработаны

в фирменном программном обеспечении IRSoft версии 4.5.3997.34051. Термограммы представлены на фото 1–4.

Заключение

Применение систем лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей действительно позволяет добиться более равномерного теплового режима в крупнообъёмном помещении, что показывает репрезентативный пример исследованного цеха металлообработки. ●



Фото 1. Результат термографического обследования

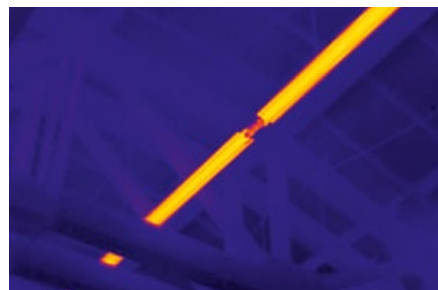


Фото 2. Результат термографического обследования

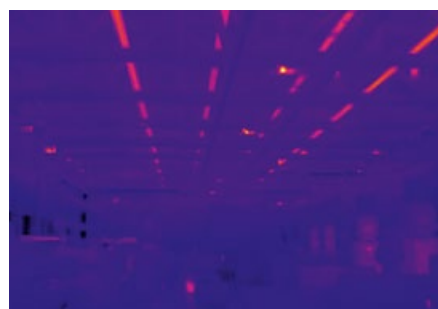
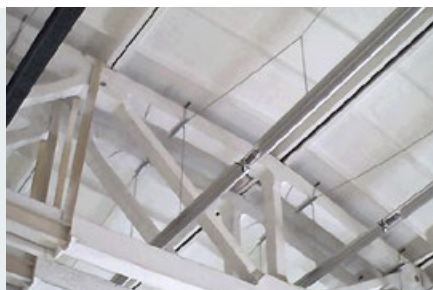


Фото 3. Результат термографического обследования

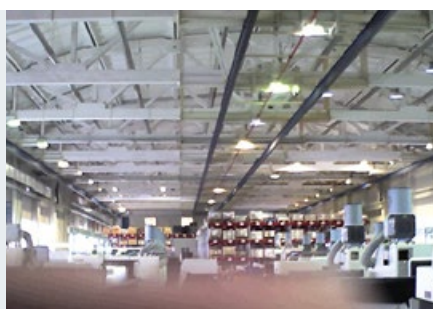
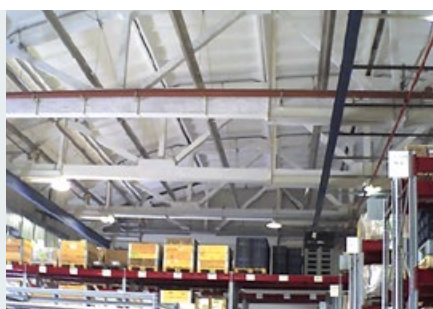


Фото 4. Результат термографического обследования



1. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики: Указ Президента РФ от 04.06.2008 №889 // Российская газета, №4680 от 07.06.2008.
2. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Фед. закон от 23.11.2009 №261-ФЗ (ред. от 13.07.2015).
3. Бодров В.И., Михайлова Л.Ю., Смыков А.А. Температурный режим наружных ограждений помещений с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал, 2015. №2. С. 58–64.
4. Бодров В.И., Бодрова В.Ф., Смыков А.А. Исследование теплового режима наружных ограждающих конструкций в промышленных помещениях с системами отопления на базе инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал, 2018. №2. С. 23–36.
5. Бодров В.И., Бодров М.В., Смыков А.А. Исследование систем лучистого отопления на базе низкотемпературных инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал, 2019. №3. С. 52–57.
6. Бодров В.И., Бодров М.В., Смыков А.А. Исследование теплотехнических характеристик низкотемпературных инфракрасных излучателей // Журнал СОК, 2019. №10. С. 32–36.
7. Kurilenko N.I., Zverev D.M., Idrisov A.Z. Comparative analysis of methods of calculating the systems for radiation heating. Gas Industry Magazine. 2001. No. 5. Pp. 58–60.
8. Kuznetsov G.V., Kurilenko N.I., Maksimov V.I., Mamontov G.Y., Nagornova T.A. Heat transfer under heating of a local region of a large production area by gas infrared radiators. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2013. No. 3. Pp. 519–524.
9. Kurilenko N.I., Mamontov G.Y., Mikhaylova L.Y. Temperature patterns in the gas infrared radiator heating area. EPJ Web of Conferences. 2015. No. 82.
10. Kuznetsov G.V., Kurilenko N.I., Mamontov G.Y., Mikhaylova L.Y. Experimental determination of the temperature in a small neighborhood of the gas infrared sources. EPJ Web of Conferences. 2015. No. 82.
11. Maksimov V.I., Nagornova T.A., Kurilenko N.I. Verification of conjugate heat transfer models in a closed volume with radiative heat source. MATEC Web of Conferences. 2016. No. 72.
12. Kuznetsov G.V., Kurilenko N.I., Nee A.E. Mathematical modelling of conjugate heat transfer and fluid flow inside a domain with a radiant heating system. International Journal of Thermal Sciences. 2018. No. 131. Pp. 27–39.
13. ГОСТ Р 54852–2011. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. — М.: Стандартинформ, 2012. 20 с.

References — see page 78.

Temperature mode of the metal workshop when using the heating system on the basis water infrared emitters. Pp. 38–40.

Mikhail V. Bodrov, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Heating and Ventilation, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU, Nizhny Novgorod city); **Dimitri A. Kuznetsov**, general director, "Flaig + Hornmel", LLC (Zavolgie city); **Alexander A. Smykov**, Assistant, Department of Heating and Ventilation, NNGASU

1. *O nekotorykh merakh po povysheniju jenergeticheskoy i jekologicheskoy jeffektivnosti rossijskoj jekonomiki* [On some measures to improve the energy and environmental efficiency of the Russian economy]. *Ukaz Prezidenta RF ot 04.06.2008 №889* [Decree of the President of the Russian Federation of June 4, 2008 No. 889]. *Rossijskaja gazeta* [Russian newspaper]. No. 4680 of June 7, 2008. [In Russian]
2. *Ob jenergosberezhenii i o povyshenii jenergeticheskoy jeffektivnosti, i o vnesenii izmenenij v odel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii* [On energy saving and on increasing energy efficiency, and on amending certain legislative acts of the Russian Federation]. *Federal'nyj zakon ot 23.11.2009 №261-FZ (red. ot 13.07.2015)* [The Federal Law of November 23, 2009 No. 261-FL (as Amended of July 13, 2015)]. [In Russian]
3. V.I. Bodrov, L.Ju. Mihajlova, A.A. Smykov. *Temperaturnyj rezhim naruzhnyh ograzhdenij pomeshhenij s sistemami otopenija na baze gazovyh infrakrasnyh izluchatelej* [Temperature regime of external enclosures of premises with heating systems based on gas infrared emitters]. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2015. No. 2. Pp. 58–64. [In Russian]
4. V.I. Bodrov, V.F. Bodrova, A.A. Smykov. *Issledovanie teplovogo rezhima naruzhnyh ograzhdajushhih konstrukcij v promyshlennyh pomeshhenijah s sistemami otopenija na baze infrakrasnyh izluchatelej* [Investigation of the thermal regime of external enclosing structures in industrial premises with heating systems based on infrared emitters]. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2018. No. 2. Pp. 23–36. [In Russian]
5. V.I. Bodrov, M.V. Bodrov, A.A. Smykov. *Issledovanie sistem luchistogo otopenija na baze nizkotemperaturnykh infrakrasnyh izluchatelej* [Research of radiant heating systems based on low-temperature infrared emitters]. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2019. No. 3. Pp. 52–57. [In Russian]
6. V.I. Bodrov, M.V. Bodrov, A.A. Smykov. *Issledovanie teplotnicheskikharakteristik nizkotemperaturnykh infrakrasnyh izluchatelej* [Investigation of heat engineering characteristics of low-temperature infrared emitters]. *Zhurnal Santehnika, otopenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2019. No. 10. Pp. 32–36. [In Russian]
7. N.I. Kurilenko, D.M. Zverev, A.Z. Idrisov. Comparative analysis of methods of calculating the systems for radiation heating. *Gas Industry Magazine*. 2001. No. 5. Pp. 58–60.
8. G.V. Kuznetsov, N.I. Kurilenko, V.I. Maksimov, G.Y. Mamontov, T.A. Nagornova. Heat transfer under heating of a local region of a large production area by gas infrared radiators. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2013. No. 3. Pp. 519–524.
9. N.I. Kurilenko, G.Y. Mamontov, L.Y. Mikhaylova. Temperature patterns in the gas infrared radiator heating area. *EPJ Web of Conferences*. 2015. No. 82.
10. G.V. Kuznetsov, N.I. Kurilenko, G.Y. Mamontov, L.Y. Mikhaylova. Experimental determination of the temperature in a small neighborhood of the gas infrared sources. *EPJ Web of Conferences*. 2015. No. 82.
11. V.I. Maksimov, T.A. Nagornova, N.I. Kurilenko. Verification of conjugate heat transfer models in a closed volume with radiative heat source. *MATEC Web of Conferences*. 2016. No. 72.
12. G.V. Kuznetsov, N.I. Kurilenko, A.E. Nee. Mathematical modelling of conjugate heat transfer and fluid flow inside a domain with a radiant heating system. *International Journal of Thermal Sciences*. 2018. No. 131. Pp. 27–39.
13. *GOST R 54852–2011. Zdanija i sooruzhenija. Metod teplovizionnogo kontrolja kachestva teploizoljacii ograzhdajushhih konstrukcij* [Buildings and constructions. Method of thermal imaging quality control of thermal insulation of enclosing structures]. Moscow. *Standartinform* [Russian Scientific-Technical Information Centre for Standardization, Metrology and Conformity Assessment ("Standartinform" Publishers)]. 2012. 20 p. [In Russian]