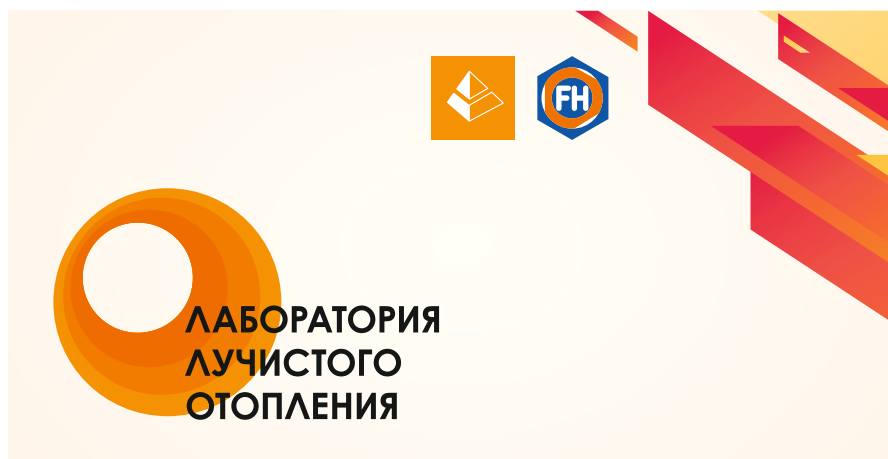




# Исследование теплотехнических характеристик низкотемператур- ных инфракрас- ных излучателей\*

\* Данная статья является первой из планируемых трёх научных публикаций, посвящённых изучению теплового режима помещений, оборудованных энергоэффективными инновационными системами лучистого отопления на базе низкотемпературных инфракрасных излучателей.

Рецензия эксперта на статью получена  
05.11.2019 [Expert review on the article  
received on November 05, 2019].

В современном мире проблема энергосбережения является одной из важнейших в строительной отрасли ввиду роста цен на энергоносители [1]. Большая доля энергетических ресурсов расходуется на отопление крупнообъёмных помещений. Среди известных способов оптимизации и снижения затрат тепловой энергии при отоплении таких помещений особенным является использование систем лучистого отопления. Среди прочих способов оно является приоритетным и заслуживающим особого внимания [2–4], поскольку по сравнению с водяными и воздушными системами отопления требует меньших затрат теплоты без снижения уровня теплового комфорта.

В отопительных системах на базе инфракрасных излучателей (ИИ) теплота подаётся в рабочую зону направленным потоком теплового излучения. Так как воздушные массы в помещении не поглощают электромагнитное излучение в инфракрасном спектре, а лишь рассеивают его, то энергия от ИИ аккумулируется на облучённых поверхностях и способствует формированию конвективных потоков, обеспечивающих нагрев воздуха рабочей зоны, что указывает на принципиальное отличие от «традиционных» систем отопления и перспективность использования лучистых систем [5, 6].

Нормативная база, определяющая требуемые параметры микроклимата крупно-

объёмных помещений, не учитывает специфику работы систем лучистого отопления. А она, в свою очередь, является определяющей при рассмотрении преимуществ данных систем по сравнению с водяными и воздушными. По объёму затрачиваемой тепловой энергии превосходство лучистых систем отопления может составлять до 40% [3, 5, 6].

**Воздушные массы в помещении не поглощают электромагнитное излучение в инфракрасном спектре, а лишь рассеивают его, и энергия от ИИ аккумулируется на облучённых поверхностях и способствует формированию конвективных потоков, обеспечивающих нагрев воздуха рабочей зоны, что указывает на принципиальное отличие от «традиционных» систем отопления и перспективность использования лучистых систем**

Одним из факторов, позволяющих снизить энергопотребление, является снижение температуры воздуха рабочей зоны  $t_{в,р}$  на величину до 4°C по сравнению с нормативными значениями, предусмотренными при проектировании «традиционных» систем отопления [7, 8].

УДК 697.7. Научная специальность: 05.23.03.

## Исследование теплотехнических характеристик низкотемпературных инфракрасных излучателей

**В. И. Бодров**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой; **М. В. Бодров**, д.т.н., профессор; **А. А. Смыков**, аспирант, кафедра отопления и вентиляции, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ)

Приведена методика и результаты исследования теплотехнических характеристик низкотемпературных инфракрасных излучателей производства компании ООО «Флайг+Хоммель». Проведены численный и натурный эксперименты на базе Учебного научно-исследовательского центра «Системы отопления с использованием низкотемпературных инфракрасных излучателей» ННГАСУ.

**Ключевые слова:** теплофизика, водяное отопление, инфракрасное излучение, лучистое отопление, излучатель.

UDC 697.7. Number of scientific specialty: 05.23.03.

## Study of radiated heating systems on the base of low-temperature infrared radiators

**V. I. Bodrov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department; **M. V. Bodrov**, Doctor of Technical Sciences, Professor; **A. A. Smykov**, postgraduate student, the Department of Heating and Ventilation, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU, Nizhny Novgorod city)

The methodology and results of the study of the heating system on the basis of low-temperature infrared emitters produced by "Flaig+Hommel", LLC, are given. Numerical and full-scale experiments were carried out on the basis of the "Heating systems using low-temperature infrared radiators" Educational Research Center of the NNGASU.

**Keywords:** thermophysics, water heating, infrared radiation, radiant heating, radiator.



Это становится возможным за счёт большей плотности потока теплового излучения в помещениях с системой отопления на базе инфракрасных излучателей, которое непосредственно нагревает поверхность тела людей и животных.

Наиболее энергоэффективным видом лучистого отопления, ввиду ряда факторов [5], можно считать отопление на базе газовых инфракрасных излучателей (ГИИ). В таких системах исключено использование промежуточного теплоносителя (воды, пара), тепловая энергия поступает в помещение от первичного энергоносителя — газа. Однако использование подобных систем связано с некоторыми сложностями, например, применение любых видов ГИИ в категорийных помещениях ограничено, ведь использование «светлых» газовых инфракрасных излучателей связано с выбросом продуктов сгорания непосредственно в объём обслуживаемого помещения, что накладывает свой отпечаток на перечень помещений, где возможна их установка. Стоит учесть, что подключение газа во многих регионах России сопряжено с крупными финансовыми затратами.

Один из самых эффективных видов лучистого отопления, применение которого не столь ограничено, — системы лучистого отопления на базе низкотемпературных инфракрасных излучателей (НИИ). Отопительные приборы в данных системах — излучающие профили или потолочные излучающие панели, использующие жидкий теплоноситель, нагретый до температур от 40 до 150 °С. Тепловая энергия передаётся от теплоносителя к излучателю, и он, в свою очередь, начинает излучать электромагнитные волны в инфракрасном диапазоне, что обеспечивает отопление обслуживаемого помещения.



Одной из причин малого распространения систем отопления на базе НИИ является отсутствие апробированной на практике научно-обоснованной методики проектирования.

Стоит отметить, что использование систем отопления на базе низкотемпературных инфракрасных излучателей характеризуется рядом преимуществ, ведущим к высокой энергоэффективности системы отопления, таким как: низкая тепловая инерция, что обеспечивает короткое время реагирования; простое и эффективным регулирование, за счёт небольшого количества теплоносителя в системе; направленная подача тепловой энергии в рабочую зону помещения, что позволяет создать зональную систему отопления; простота монтажа и обслуживания, за счёт кратного уменьшения длины транзитных трубопроводов; снижение трансмиссионных тепловых потерь через покрытие здания, к которому ведёт небольшой градиент температуры воздуха по высоте поме-

щения и отсутствие «тепловой подушки»; возможность применения возобновляемых источников энергии и систем рекуперации теплоты; отсутствие сквозняков и пылевых масс, благодаря минимизации конвективных процессов; бесшумная работа системы; экономия пространства; долгий срок службы.

Применение лучистых систем отопления на базе НИИ является эффективным и экономически обоснованным в крупнообъёмных помещениях, таких как производственные помещения, шоу-румы, здания транспортной инфраструктуры, спортивные комплексы и т.д.

Для проведения комплекса исследований теплового режима помещений, оборудованных лучистыми системами отопления на базе НИИ, в ФГБОУ ВО

«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ) был создан Учебный научно-исследовательский центр «Системы отопления с использованием низкотемпературных инфракрасных излучателей» (УНИЦ «СОНИИ»). В основу центра легла «Лаборатория лучистого отопления», оборудованная необходимой приборной базой и созданная совместно с компанией ООО «Флайг+Хоммель» при непосредственном её финансировании.

Для создания полноценной картины работы системы отопления на базе НИИ требуется всестороннее изучение следующих теплофизических параметров: определение удельной теплоотдачи излучающего профиля (излучателя); измерение плотности лучистого потока тепловой энергии; моделирование теплового режима отапливаемого помещения; моделирование теплового и температурного режимов ограждающих конструкций обслуживаемого помещения.

В данной статье представлены результаты исследований, связанных с определением удельной теплоотдачи 1 п.м. излучающего профиля и измерением плотности лучистого потока тепловой энергии. Объектом исследований стал излучающий профиль модели Helios 750 (рис. 1) производства компании Flaig+Hommel. Для оценки теплотехнических характеристик профиля была сконструирована экспериментальная установка, показанная на рис. 2. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.

Характеристики исследуемого излучателя марки Helios 750: габаритные размеры (шхвхд) — 170×170×1000 мм; материал профиля — анодированный сплав алюминия (AlMgSi0,5); максимальное рабочее давление — 10 бар; максимальная температура подаваемого теплоносителя ограничена лишь характеристиками источника теплоты, поскольку сплав не подвержен коррозии и высокотемпературной

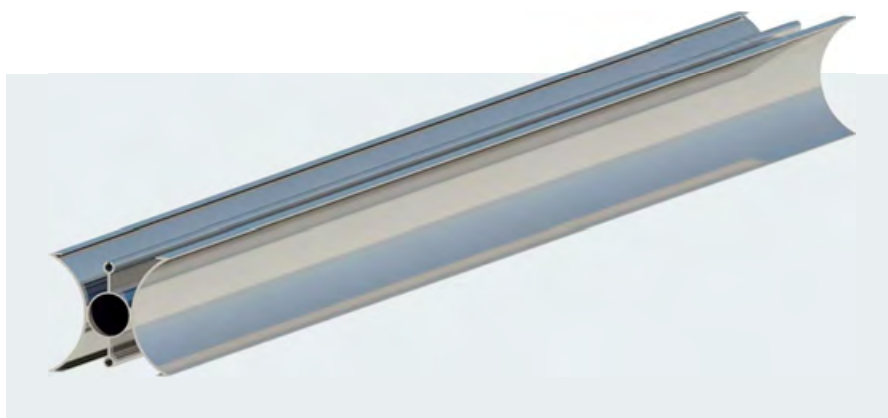


Рис. 1. Излучатель марки Helios 750

эмиссии электронов. Данный образец позволяет смоделировать фрагмент системы водяного лучистого отопления на базе НИИ, применить известные в этой области методики испытаний, получить экспериментальные данные, которые масштабируемы для создания и усовершенствования методики проектирования систем лучистого отопления.

В рамках исследования было проведено термографическое исследование лабораторной установки, результаты приведены на рис. 4–5.

Измерение удельной теплоотдачи одного п.м. излучателя производилось с помощью электромагнитного расходомера-счётчика марки ЭРСВ-570Ф и вычислителя количества теплоты ТРСВ-026М производства ЗАО «Взлёт». Измеряемые величины:  $t_1$  и  $t_2$  — температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах установки, °C;  $G_1$  и  $G_2$  — массовые расходы теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе экспериментальной установки, кг/ч;  $N$  — количество включённых излучателей, шт.;  $Q_{тр}$  — транзитные тепловые потери [Вт], измеренные экспериментально.

Уравнение удельной теплоотдачи 1 п.м. излучателя в заданных условиях выглядит следующим образом:

$$Q_{изл} = \frac{G_1 c_{t1} t_1 - G_2 c_{t2} t_2}{N} - Q_{тр}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где  $c_{t1}$  и  $c_{t2}$  — теплоёмкости воды в подающем и обратном трубопроводах, соответственно, кДж/(кг·°C).

Результаты проведённых исследований по определению удельной тепловой мощности 1 п.м. излучателя приведены в табл. 1 и на рис. 6.

Измерение плотности потока лучистой тепловой энергии проводилось при помощи неселективного радиометра «Аргус-03», координаты точек измерения определялись с помощью лазерного дальномера марки Bosch GLM 50C. Измеряемыми величинами являлись:  $t_1$  — температура теплоносителя в подающем трубопроводе экспериментальной установки, °C;  $t_{ни}$  — температура поверхности излучателя, °C;  $l_x$  — расстояние от поверхности излучателя до точки измерения, м;  $\varphi_x$  — угол между нормалью излучателя и плоскостью измерения, град.;  $E_{ни}$  — плотность лучистого теплового потока, Вт/м².

Экспериментальное определение удельной тепловой мощности 1 п.м. излучателя табл. 1

| № опыта | $N$ , шт. | $t_1$ , °C | $t_2$ , °C | $G_1$ , кг/ч | $G_2$ , кг/ч | $Q_{общ}$ , Вт | $Q_{тр}$ , Вт | $Q_{изл}$ , Вт | $\Delta t$ , °C |
|---------|-----------|------------|------------|--------------|--------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|
| 1       | 8         | 30,01      | 26,32      | 279,03       | 270,21       | 1462,94        | 100,50        | 82,37          | 6,37            |
| 2       | 8         | 39,40      | 33,11      | 313,48       | 303,76       | 2658,17        | 189,81        | 142,46         | 13,46           |
| 3       | 8         | 52,43      | 41,24      | 284,56       | 276,36       | 4048,02        | 323,79        | 186,71         | 22,94           |
| 4       | 8         | 61,68      | 48,52      | 316,09       | 307,42       | 5310,73        | 413,10        | 250,74         | 30,80           |
| 5       | 8         | 69,83      | 56,97      | 399,42       | 390,64       | 6535,48        | 502,44        | 314,49         | 38,90           |



Рис. 2. Лаборатория лучистого отопления ННГАСУ (УНИЦ «СОНИИ»)

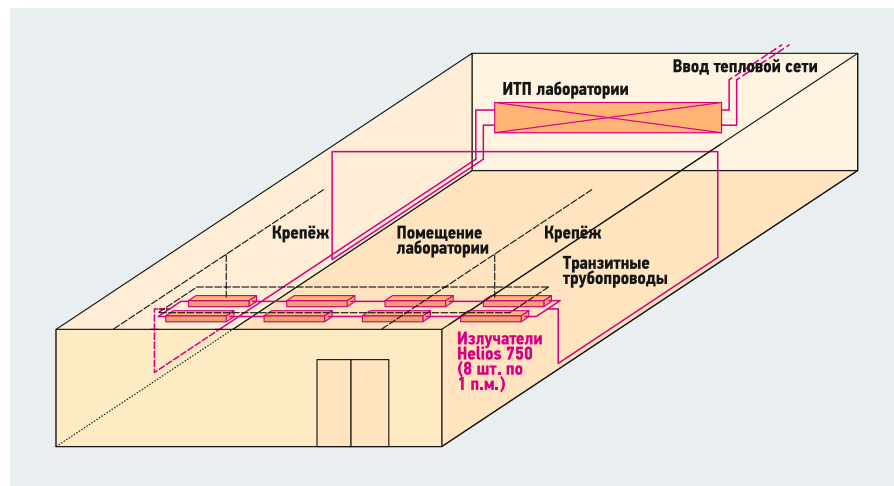


Рис. 3. Схема экспериментальной установки лаборатории лучистого отопления УНИЦ «СОНИИ»



Рис. 4. Панорамная термограмма лаборатории лучистого отопления УНИЦ «СОНИИ»

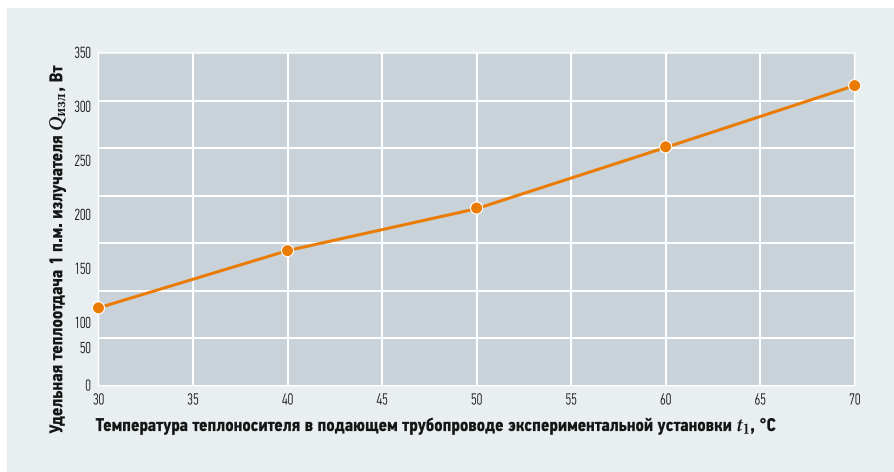


Рис. 6. График удельной мощности 1 п.м. излучателя Helios 750 в зависимости от температуры в подающем трубопроводе системы отопления

Экспериментальное измерение плотности лучистого потока тепловой энергии

табл. 2

| № опыта | $t_1$ , °C | $t_{НИИ}$ , °C | $l_x$ , м | $\varphi_x$ , град. | $E_{НИИ}$ , Вт/м² | № опыта | $t_1$ , °C | $t_{НИИ}$ , °C | $l_x$ , м | $\varphi_x$ , град. | $E_{НИИ}$ , Вт/м² |
|---------|------------|----------------|-----------|---------------------|-------------------|---------|------------|----------------|-----------|---------------------|-------------------|
| 1       | 61,2       | 55,36          | 0,1       | 0                   | 95,0              | 11      | 61,2       | 55,36          | 1,1       | 0                   | 16,0              |
| 2       | 61,2       | 55,36          | 0,2       | 0                   | 83,5              | 12      | 61,2       | 55,36          | 1,2       | 0                   | 16,0              |
| 3       | 61,2       | 55,36          | 0,3       | 0                   | 55,0              | 13      | 61,2       | 55,36          | 1,3       | 0                   | 16,0              |
| 4       | 61,2       | 55,36          | 0,4       | 0                   | 41,5              | 14      | 61,2       | 55,36          | 1,4       | 0                   | 15,5              |
| 5       | 61,2       | 55,36          | 0,5       | 0                   | 32,3              | 15      | 61,2       | 55,36          | 1,5       | 0                   | 14,5              |
| 6       | 61,2       | 55,36          | 0,6       | 0                   | 26,5              | 16      | 61,2       | 55,36          | 1,6       | 0                   | 13,5              |
| 7       | 61,2       | 55,36          | 0,7       | 0                   | 24,0              | 17      | 61,2       | 55,36          | 1,7       | 0                   | 13,5              |
| 8       | 61,2       | 55,36          | 0,8       | 0                   | 20,0              | 18      | 61,2       | 55,36          | 1,8       | 0                   | 12,7              |
| 9       | 61,2       | 55,36          | 0,9       | 0                   | 17,2              | 19      | 61,2       | 55,36          | 1,9       | 0                   | 12,1              |
| 10      | 61,2       | 55,36          | 1,0       | 0                   | 16,3              | 20      | 61,2       | 55,36          | 2,0       | 0                   | 11,4              |



Рис. 7. График плотности лучистого потока излучателя Helios 750 в зависимости от расстояния до точки измерения

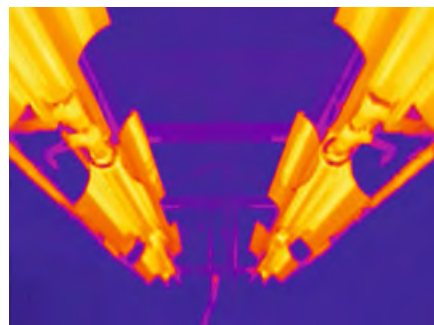


Рис. 5. Термограмма экспериментальной установки лаборатории лучистого отопления

Результаты проведенных исследований по определению плотности потока лучистой тепловой энергии приведены в табл. 2 и на рис. 7.

На базе УНИЦ «СОНИИ» ННГАСУ проведено экспериментальное исследование теплотехнических характеристик низкотемпературных инфракрасных излучателей марки Helios 750 производства ООО «Флайт+Хоммель». Дальнейшим этапом исследований является лабораторное изучение теплового режима помещения, оборудованного НИИ с корреляцией полученных результатов на натурном объекте. ●

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ. Федер. закон от 23.11.2009 №261-ФЗ (ред. от 13.07.2015).
2. Бодров В.И., 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. 29–36.
3. Бодров В.И., Смыков А.А. Теплофизические характеристики теплового контура зданий с газовыми инфракрасными излучателями // Журнал С.О.К., 2014. №7. С. 52–55.
4. Булатов А.Л., Загребина Е.В. Эффективность использования инфракрасных газовых излучателей для отопления производственных помещений ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» // АВОК, 2007. №2. С. 36–40.
5. Куриленко Н.И. Тепловой режим производственных помещений с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей / Н.И. Куриленко, В.И. Максимов, Г.Я. Мамонтов, Т.А. Нагорнова. — Томск: Изд-во ТПУ, 2013. 101 с.
6. Бухмиров В.В., Крупенников С.А., Солнышкова Ю.С. Алгоритм расчёт систем лучистого отопления помещений // Вестник ИГЭУ, 2010. Вып. 4. С. 23–25.
7. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
8. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализ. ред. СНИП 23-02–2003.

References — see page 94.

Study of radiated heating systems on the base of low-temperature infrared radiators. Pp. 32–36.

**Valeriy I. Bodrov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department; **Mihail V. Bodrov**, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Aleksandr A. Smykov**, postgraduate student, the Department of Heating and Ventilation, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU, Nizhny Novgorod city)

1. *Ob jenergosberezhenii i o povyshenii jenergeticheskoy jeffektivnosti, i o vnesenii izmenenij v ot del'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii* [On energy conservation and on improving energy efficiency, and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation]. *Feder. zakon ot 23.11.2009 №261-FZ* (red. ot 13.07.2015) [Federal Law of November 23, 2009 No. 261-FL (as amended on July 13, 2015)]. [In Russian]
2. Bodrov V.I., Smykov A.A. *Issledovanie teplovogo rezhima naruzhnyh ograzhdajushhih konstrukcij v promyshlennyh pomeshhenijah s sistemami otoplenija na baze infrakrasnyh izluchatelej* [The study of the thermal regime of external building envelopes in industrial premises with heating systems based on infrared emitters]. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2018. No. 2. Pp. 29–36. [In Russian]
3. Bodrov V.I., Smykov A.A. *Teplofizicheskie harakteristiki teplovogo kontura zdaniy s gazovymi infrakrasnymi izluchateljami* [Thermophysical characteristics of the thermal circuit of buildings with gas infrared emitters]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2014. No. 7. Pp. 52–55. [In Russian]
4. Bulatov A.L., Zagrebina E.V. *Jefferektivnost' ispol'zovaniya infrakrasnyh gazovyh izluchatelej dlja otoplenija proizvodstvennyh pomeshhenij* PAO "Magnitogorskij metallurgicheskij kombinat" [Efficiency of using infrared gas emitters for heating industrial premises of "Magnitogorsk Iron and Steel Works" Public Company]. *AVOK* [Journal of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (ABOK)]. 2007. No. 2. Pp. 36–40. [In Russian]
5. Kurilenko N.I., Maksimov V.I., Mamontov G.Ja., Nagornova T.A. *Teplovoj rezhim proizvodstvennyh pomeshhenij s sistemami otoplenija na baze gazovyh infrakrasnyh izluchatelej* [Thermal conditions of production facilities with heating systems based on gas infrared emitters]. Tomsk. *Izd-vo TPU* [Publishing House of Tomsk Polytechnic University]. 2013. 101 p. [In Russian]
6. Buhmurov V.V., Krupennikov S.A., Solnyshkova Ju.S. *Algoritm raschjot sistem luchistogo otoplenija pomeshhenij* [Algorithm calculation of radiant heating systems]. *Vestnik IGJeU* [Bulletin of Ivanovo Power Engineering Institute]. 2010. Issue 4. Pp. 23–25. [In Russian]
7. *SanPiN* [Sanitary Norms and Regulations of Russia (Russian Public Health Regulations)] 2.2.4.548–96. *Gigienicheskie trebovanija k mikroklimatu proizvodstvennyh pomeshhenij* [Hygienic requirements for the microclimate of industrial premises]. [In Russian]
8. *SP* [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice) No.] 50.13330.2012. *Teplovaja zashhita zdaniy* [Thermal protection of buildings]. *Aktualiz. red. SNiP* [Updated version of Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No.] 23-02–2003. [In Russian]