

Academia. Архитектура и строительство, № 2, стр. 160–167.

Academia. Architecture and Construction, no. 2, pp. 160–167.

Исследования и теория

Научная статья

УДК 697.7

doi: 10.22337/2077-9038-2023-2-160-167

Исследование теплотехнических характеристик водяных инфракрасных излучателей для энергоэффективных систем лучистого отопления

Бодров Михаил Валерьевич (Нижний Новгород). Доктор технических наук, доцент. Кафедра отопления и вентиляции Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета (Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65, ННГАСУ). Эл. почта: tes84@inbox.ru

Кузнецов Дмитрий Александрович (Нижний Новгород). ООО «Флайг + Хоммель» (Россия, 606522, Нижегородская обл., Заволжье, ул. Баумана, 7, «Флайг+Хоммель»). Эл. почта: kda@flaig-hommel.ru

Смыков Александр Анатольевич (Нижний Новгород). Кафедра отопления и вентиляции Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета (Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65, ННГАСУ). Эл. почта: aleksandrsmyskov@gmail.com

Руин Алексей Евгеньевич (Нижний Новгород). Кафедра отопления и вентиляции Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета (Россия, 603000, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65, ННГАСУ). Эл. почта: ruin199920@yandex.ru

Аннотация. Внедрение лучистых систем отопления позволяет повысить энергоэффективность крупнообъемных помещений. Использование газовых и электрических систем сопряжено с рядом ограничений, связанных с безопасностью и стоимостью энергии. Водяные системы отопления являются оптимальным решением с экономической и нормативной точек зрения. В данной работе предложена методика проведения испытаний водяных излучающих профилей и рассмотрены их результаты.

Ключевые слова: лучистое отопление, инженерные системы, теплоснабжение, инфракрасный излучатель, энергоэффективность

Для цитирования. Бодров М.В., Кузнецов Д.А., Смыков А.А., Руин А.Е., Исследование теплотехнических характеристик водяных инфракрасных излучателей для энергоэффективных систем лучистого отопления // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 2. – С. 160–167. doi: 10.22337/2077-9038-2023-2-160-167.

Investigation of Thermal Characteristics of Water Infrared Emitters for Energy-Efficient Radiant Heating Systems

Bodrov Mikhail V. (Nizhny Novgorod). Doctor of Technical Sciences, Docent. Department of Heating and Ventilation of Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (65, Ilinskaya str., Nizhny Novgorod, 603000, Russia). E-mail: tes84@inbox.ru.

Kuznetsov Dmitry A. (Nizhny Novgorod). ООО "Flaig + Hommel" (7, Baumana str., Zavolzhye, Nizhny Novgorod region, 606522, Russia). E-Mail: kda@flaig-hommel.ru

Smykov Alexander A. (Nizhny Novgorod). Department of Heating and Ventilation of the Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (65, Ilinskaya str., Nizhny Novgorod, 603000, Russia). E-mail: aleksandrsmkyov@gmail.com

Ruin Alexey E. (Nizhny Novgorod). Department of Heating and Ventilation of the Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (65, Ilinskaya str., Nizhny Novgorod, 603000, Russia). E-mail: ruin199920@yandex.ru

Abstract. The introduction of radiant heating systems makes it possible to increase the energy efficiency of large-volume premises. The use of gas and electric systems is associated with a few restrictions related to the safety and cost of energy. Water heating systems are the optimal solution from an economic and regulatory point of view. In this paper, a methodology for testing water emitting profiles is proposed and their results are considered.

Keywords: radiant heating, engineering systems, heat supply, infrared emitter, energy efficiency.

For citation. Bodrov M.V., Kuznetsov D.A., Smykov A.A., Ruin A.E. Investigation of Thermal Characteristics of Water Infrared Emitters for Energy-Efficient Radiant Heating Systems. In: Academia. Architecture and Construction, 2023, no. 2, pp. 160–167. doi: 10.22337/2077-9038-2023-2-160-167.

Одним из важнейших направлений стратегии развития Российской Федерации является энергосбережение и повышение энергоэффективности¹. В частности, существенную долю в общем энергопотреблении занимают системы обеспечения параметров микроклимата крупнообъёмных зданий и сооружений. Общий потенциал энергосбережения в теплоснабжении, например, производственных зданий и сооружений, исходя из многочисленных публикаций, оценивается на уровне 15–20 %. Традиционные мероприятия, прописанные в программах энергосбережения и повышения энергетической эффективности предприятий, достаточно затратные и имеют значительные сроки окупаемости. В связи с этим большой интерес представляют нетрадиционные мероприятия, дающие наибольший эффект, срок окупаемости которых не превышает четырёх лет.

В нашей стране значительная часть энергетических ресурсов (более 60 %) тратится на теплоснабжение объектов различного назначения, в частности, на системы теплоснабжения и отопления крупнообъёмных производственных зданий, поэтому внедрение энергосберегающих технологий, способствующих поддержанию требуемых (расчётных) параметров микроклимата при минимальных затратах приобретает всё большую актуальность. Применение лучистого отопления является одним из наиболее эффективных способов снижения потребления тепловой энергии помещением без снижения комфорта и нанесения вреда людям, находящихся в нём [1–3].

Лучистые системы отопления по своему принципу действия отличаются от конвективных. Более половины всей теплоты лучистые тепловые приборы отдадут через электромагнитное излучение в инфракрасном диапазоне.

Одним из самых распространённых видов лучистых отопительных приборов являются инфракрасные излучатели

(ИИ). Задачей инфракрасного излучателя является передача как можно большего количества теплоты в рабочую зону помещения, нагрев поверхностей в рабочей зоне и обогрев поверхности кожи человека.

Непосредственное воздействие инфракрасного излучения благоприятно сказывается на самочувствии людей и теплокровных животных. Тепловое излучение проникает через поверхность кожи, частично нагревает её, достигает кровеносных сосудов и непосредственно повышает температуру крови, вызывая приятные тепловые ощущения. Так как воздух является прозрачной средой для электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне, то энергия от инфракрасных излучателей аккумулируется на приповерхностных слоях облучённых поверхностей, и уже затем способствует формированию конвективных потоков, обеспечивающих равномерный нагрев воздуха рабочей зоны, что повышает энергоэффективность зданий, в особенности крупнообъёмных.

Вышеперечисленные особенности указывают на перспективность использования лучистых систем. Совокупный эффект при грамотном внедрении системы лучистого отопления, выраженный в сокращении количества тепловой энергии, необходимой для создания и поддержания комфортных параметров микроклимата в помещении при использовании лучистого отопления, может составлять до 40 % [4–6].

Одним из факторов, который позволяет снизить потребление тепловой энергии, является снижение температуры внутреннего воздуха t_v на величину до 4 °С по сравнению с нормативными значениями, предусмотренными при проектировании конвективных систем отопления^{2,3}. Снижение

² СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» (<https://docs.cntd.ru/document/573697256>).

³ Постановление Правительства РФ от 29 октября 2010 г. № 870 «Об утверждении технического регламента о безопасности сетей газораспределения и газопотребления» (с изменениями и дополнениями) (<https://base.garant.ru/>).

¹ Указ Президента РФ от 01.12.2016 № 642 (ред. от 15.03.2021) «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» (<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201612010007>).

температуры внутреннего воздуха не сказывается на комфорте пребывающего в помещении человека, так как с использованием лучистого отопления за счёт большей плотности лучистого теплового потока ощущаемая радиационная (или результирующая) температура остаётся неизменной [7–15].

По удельной стоимости тепловой мощности (по отношению к стоимости отопительного прибора) наиболее привлекательным видом лучистого отопления является газовое лучистое отопление (ГЛО). В таких системах сжигание газа происходит непосредственно в отопительных приборах – газовых инфракрасных излучателях (ГИИ), а значит, отсутствует промежуточный теплоноситель, что является несомненным преимуществом. Но у таких систем может быть ряд серьёзных недостатков и ограничений, таких как:

- отсутствие точки подключения к газопроводу или её удалённость;
- наличие в помещениях взрывоопасных зон;
- наличие помещений, в которых не допускается использование газового лучистого отопления^{4,5};
- затруднённость выполнения экологических нормативов, так как использование газовых инфракрасных излучателей сопряжено с выбросом дымовых газов в окружающую среду;
- многие люди отмечают плохое самочувствие при нахождении в помещении с газовым лучистым отоплением, связанное с локальной тепловой асимметрией, возникающей из-за высокой плотности теплового потока от излучателей.

Применение электрических инфракрасных излучателей тоже ограничено⁶, к тому же стоимость электрической энергии делает применение электрических ИИ неэффективным для отопления крупнообъёмных помещений.

Напротив, использование водяного лучистого отопления (ВЛО) не ограничивается никакими нормативными требованиями. В качестве отопительных приборов в таких системах используются водяные инфракрасные излучатели (ВИИ) двух типов: инфракрасные панели и инфракрасные излучающие профили (рис. 1, 2). Источником теплоты в таких системах может служить как бытовой или промышленный котёл, так и центральная система теплоснабжения. У данного типа систем есть ряд серьёзных преимуществ перед аналогами: низкая тепловая инерция, обеспечивающая короткое время реагирования; простое и эффективное регулирование за счёт небольшого количества теплоносителя в системе; простота монтажа и обслуживания за счёт кратного уменьшения длины транзитных трубопроводов; снижение трансмиссионных тепловых потерь через покрытие здания из-за небольшого градиента температуры воздуха по высоте помещения и отсутствия «тепловой подушки»; возможность применения возобновляемых источников энергии и систем рекуперации теплоты.

Использование систем отопления на базе водяных инфракрасных излучателей является эффективным и экономически обоснованным в таких крупнообъёмных помещениях, как производственные, выставочные залы; здания транспортной инфраструктуры – вокзалы, аэропорты; спортивные комплексы и т.д. [16–18].

Исследования лучистой системы отопления на базе водяных инфракрасных излучателей были проведены в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете (ННГАСУ). Для этого была организована Лаборатория лучистого отопления (рис. 3), созданная совместно с индустриальным партнёром – компанией

⁴ СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» (<https://docs.cntd.ru/document/573697256>).

⁵ Постановление Правительства РФ от 29 октября 2010 г. № 870 «Об утверждении технического регламента о безопасности сетей газораспределения и газопотребления» (с изменениями и дополнениями) (<https://base.garant.ru/>).

⁶ СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» (<https://docs.cntd.ru/document/573697256>).

⁷ Статья проиллюстрирована фотографиями и графиками, выполненными авторами, кроме случаев, особо оговоренных.



Рис. 1. Инфракрасная панель



Рис. 2. Инфракрасный излучающий профиль

«Флайг+Хоммель» (город Заволжье Нижегородской области), которая является единственным производителем водяных излучающих профилей на территории России [19].

В течение долгого периода работы Лаборатории лучистого отопления на её базе был проведён комплекс экспериментов, посвящённый исследованию следующих характеристик ВИИ: тепловые, лучистые, тепловой режим в помещениях с системами отопления на базе ВИИ, температурный режим в помещениях, оборудованных системами отопления на базе ВИИ; тепловой режима наружных ограждающих конструкций в помещениях с системами отопления на базе ВИИ.

На мощностях завода индустриального партнёра за годы сотрудничества производились и исследовались различные марки водяных излучающих профилей: Helios 750 (приобретённый патент), Flower 125 (собственная запатентованная разработка) и, наконец, Flower 225 (собственная запатентованная разработка, масштабирование модели Flower 125) [20; 21]. Данное исследование посвящено изучению теплотехнических характеристик отопительных приборов последнего поколения.

Целью эксперимента является определение значений удельной мощности 1 п.м водяного инфракрасного излучателя. Объект исследований – водяные инфракрасные излучатели, выполненные в виде излучающих профилей марки Flower 225 (рис. 4).

Для проведения исследований использовалась оригинальная экспериментальная установка, разработанная в ННГАСУ [4]. Данная установка представляет собой модель фрагмента лучистой системы отопления на базе ВИИ и позволяет с применением известных методов испытаний получить достоверные теплотехнические характеристики отопительных приборов, которые впоследствии можно использовать в инженерной практике.

Измерение удельной теплоотдачи 1 п.м водяного инфракрасного излучателя $q_{изл}$ производилось при помощи поверенных измерительных приборов: вычислителя количества

теплоты марки ТРСВ-026М и электромагнитного расходомера-счётчика марки ЭРСВ-570Ф. В ходе эксперимента измерялись следующие величины: G_1 – массовый расход теплоносителя в подающем трубопроводе экспериментальной установки, кг/ч; G_2 – массовый расход теплоносителя в обратном трубопроводе экспериментальной установки, кг/ч; T_1 – температура теплоносителя в подающем трубопроводе экспериментальной установки, °С; T_2 – температура теплоносителя в обратном трубопроводе экспериментальной установки, °С; N – количество включённых излучателей, шт.; $Q_{тр}$ – транзитные тепловые потери, Вт, измеренные экспериментально.

Удельная мощность 1 п.м ВИИ рассчитывалась по уравнению:

$$q_{изл} = \left(\frac{G_1 \cdot c_{T_1} \cdot T_1}{3,6} - \frac{G_2 \cdot c_{T_2} \cdot T_2}{3,6} - Q_{тр} \right) / N, \text{ Вт/п.м}, \quad (1)$$

где c_{T_1} и c_{T_2} – теплоёмкость воды в подающем и обратном трубопроводе соответственно, кДж/кг·°С.

Результаты исследования, прошедшие первичную математическую обработку, представлены и на рисунке 5.

Основной задачей математической обработки результатов исследований являлось построение регрессионных зависимостей, позволяющих определить достоверные теплотехнические характеристики ВИИ не только при исследованных значениях температурного напора ΔT , но и при любых других возможных значениях.

Для определения удельной теплоотдачи водяного инфракрасного излучателя марки Flower 225 при различных значениях температурного напора ΔT необходимо определить показатели a и m для степенного уравнения:

$$q_{изл} = a \cdot \Delta T^m. \quad (2)$$

В ходе математической обработки результатов исследования были использованы две методики: математическое моделирование линии тренда (рис. 6) и построение линейной регрессии в логарифмическом масштабе (табл. 1).



Рис. 3. Лаборатория лучистого отопления ННГАСУ



Рис. 4. Водяной инфракрасный излучатель (ВИИ) марки Flower 225

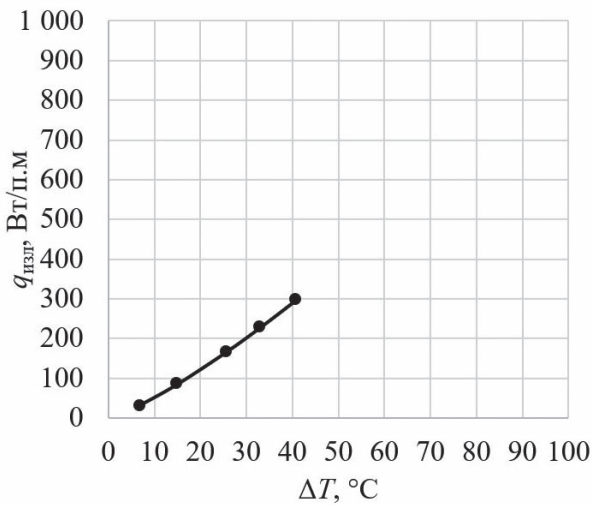


Рис. 5. Результаты исследования

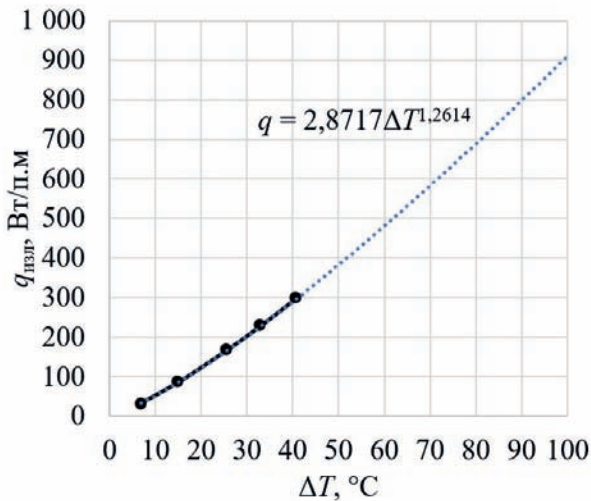


Рис. 6. Результаты моделирования степенной линии тренда

Данные, полученные с применением обоих методов, имеют достаточное схождение результатов. Уравнение (2) для ВИИ марки Flower 225 будет выглядеть следующим образом:

$$q_{изл}^{F225} = 2,8717 \cdot \Delta T^{1,2614} \quad (3)$$

Удельная мощность ВИИ Flower 225, полученная в результате проведённых преобразований, представлена в таблице 2 и на рисунке 7.

* * *

В результате проведённых исследований можно говорить о высокой удельной теплоотдаче ВИИ марки Flower 225, превосходящей не только отечественные, но и зарубежные аналоги. Излучающий профиль Flower 225, производимый в России, имеет удельную стоимость на единицу мощности ниже, чем у конкурирующих отечественных и зарубежных водяных инфракрасных панелей.

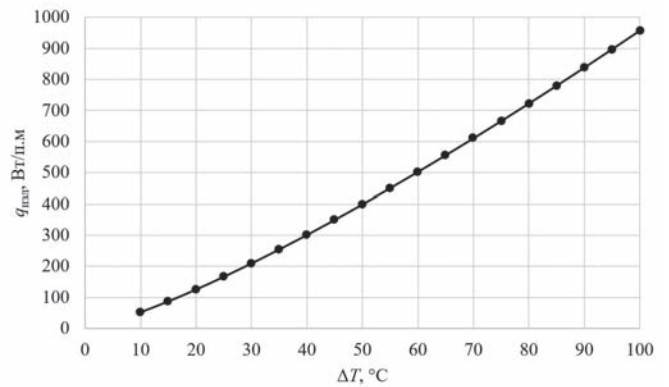


Рис. 7. Удельная мощность ВИИ марки Flower 225

Таблица 1. Линейная регрессия для ВИИ марки Flower 225

ΔT, °C	q _{изл} , Вт/п.м	x = lnΔT	y = ln q _{изл}	x ²	y ²	x·y	y = k·x + b	k = (x·y _{ср} - x _{ср} ·y _{ср})/(x ² _{ср} - x _{ср} ²)
6,85	1,9235	3,4812	3,6999	12,1190	6,6962	1,9235	3,4812	b = y _{ср} - k·x _{ср}
14,89	2,7007	4,4616	7,2937	19,9055	12,0493	2,7007	4,4616	m = k = 1,2614
25,47	3,2373	5,1384	10,4801	26,4036	16,6347	3,2373	5,1384	b = 1,0549
33,00	3,4964	5,4652	12,2245	29,8685	19,1083	3,4964	5,4652	a = 2,8717
40,90	3,7111	5,7361	13,7725	32,9031	21,2875	3,7111	5,7361	
		3,0138	4,8565	9,4942	24,2399	15,1552		

Таблица 2. Удельная мощность ВИИ марки Flower 225

ΔT, °C	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
q _{изл} , Вт/п.м	52,43	87,43	125,68	166,53	209,59	254,58	301,29	349,54	399,23	450,23	502,46	555,84	610,30	665,80	722,27	779,67	837,95	897,10	957,06

Высокая энергоэффективность применения лучистых систем отопления на базе водяных инфракрасных излучателей достигается за счёт:

- меньшего температурного градиента по высоте помещения и отсутствия тепловой подушки, что снижает потери теплоты через покрытие помещения;
- снижения температуры воздуха рабочей зоны без снижения уровня комфорта, так как радиационная температура более высокая, что также уменьшает трансмиссионные теплопотери;
- меньшей тепловой инерции, что позволяет увеличить время дежурного режима работы системы отопления и снизить длительность переходного режима.

Список источников

1. Повышение энергоэффективности и эксплуатационной надёжности систем обеспечения параметров микроклимата животноводческих зданий и сооружений / М.В. Бодров, М.С. Морозов, А.Е. Руин, А.А. Смыков. – Текст: непосредственный // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – 2022. – № 6. – С. 38–42.
2. Бодров, М.В. Повышение энергоэффективности производственных зданий за счёт применения лучистых систем отопления на базе водяных инфракрасных излучателей / М.В. Бодров, А.Е. Руин, А.А. Смыков. – Текст: непосредственный // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – 2022. – № 8. – С. 26–31.
3. Energy Efficiency of Radiant Heating Systems Based on Water-Based Radiant Pro-files / M. Bodrov, A. Smykov, M. Morozov [et al.]. – Текст: непосредственный // Civil Engineering Journal. – 2021. – Vol. 9, № 5. – P. 1546–1557.
4. Fonseca, N. Radiant Ceiling Systems Coupled to Its Environment. Part 1: Experimental analysis / N. Fonseca, C. Cuevas, V. Lemort. – DOI:10.1016/j.applthermaleng.2010.05.033. – Текст: непосредственный // Applied Thermal Engineering. – 2010. – № 14-15 (30). – P. 2187–2195.
5. Fonseca, N. Radiant Ceiling Systems Coupled to Its Environment. Part 2: Dynamic Modeling and Validation / N. Fonseca, S. Bertagnolio, C. Cuevas. – DOI:10.1016/j.applthermaleng.2010.05.032. – Текст: непосредственный // Applied Thermal Engineering. – 2010. – № 14-15(30). – P. 2196–2203.
6. Fonseca, N. Experimental Analysis and Modeling of Hydronic Radiant Ceiling Panels Using Transient-State Analysis / N. Fonseca. – DOI:10.1016/j.ijrefrig.2011.01.007. – Текст: непосредственный // International Journal of Refrigeration. – 2011. – № 4 (34). – P. 958–967.
7. Jia, H. Experimentally-Determined Characteristics of Radiant Systems for Office Buildings / H. Jia, X. Pang, P. Haves. – DOI:10.1016/j.apenergy.2018.03.121. – Текст: непосредственный // Applied Energy. – 2018. – № 221. – P. 41–54.
8. Bojić, M. Performances of Low Temperature Radiant Heating Systems / M. Bojić, D. Cvetković, V. Marjanović, M. Blagojević, Z. Djordjević. – DOI:10.1016/j.enbuild.2013.02.033. – Текст: непосредственный // Energy and Buildings. – 2013. – № 61. – P. 233–238.
9. Experimental Investigation on the Heat Transfer Performance and Water Condensation Phenomenon of Radiant Cooling Panels / Y.L. Yin, R.Z. Wang, X.Q. Zhai, T.F. Ishugah. – DOI:10.1016/j.buildenv.2013.09.016. – Текст: непосредственный // Building and Environment. – 2014. – № 71. – P. 15–23.
10. Dudkiewicz, E. The Influence of Orientation of a Gas-Fired Direct Radiant Heater on Radiant Temperature Distribution at a Work Station / E. Dudkiewicz, J. Jezowiecki. – DOI:10.1016/j.enbuild.2010.12.030. – Текст: непосредственный // Energy and Buildings. – 2011. – № 43(6). – P. 1222–1230.
11. Rhee, K.N. A 50 Year Review of Basic and Applied Research in Radiant Heating and Cooling Systems for the Built Environment / K.N. Rhee, K.W. Kim. – DOI:10.1016/j.buildenv.2015.03.040. – Текст: непосредственный // Building and Environment. – 2015. – № 91. – P. 166–190.
12. Rhee, K.N. Ten Questions about Radiant Heating and Cooling Systems / K.N. Rhee, B.W. Olesen, K.W. Kim. – DOI:10.1016/j.buildenv.2016.11.030. – Текст: непосредственный // Building and Environment. – 2017. – № 112. – P. 367–381.
13. Energy Performance Analysis of an Office Building in Three Climate Zones / N. Jung, S. Paiho, J. Shemeikka [et al.]. – DOI:10.1016/j.enbuild.2017.10.030. – Текст: непосредственный // Energy and Buildings. – 2018. – № 158. – P. 1023–1035.
14. Imanari, T. Thermal Comfort and Energy Consumption of the Radiant Ceiling Panel System. Comparison with the Conventional All-Air System / T. Imanari, T. Omori, K. Bogaki. – DOI:10.1016/S0378-7788(98)00084-X. – Текст: непосредственный // Energy and Buildings. – 1999. – № 30(2). – P. 167–175.
15. Performance of an Infrared Heating System in a Production Greenhouse / A. Kavga, E. Karanastasi, I. Konstas, T. Panidis. – DOI:10.3182/20130828-2-SF-3019.00017. – Текст: непосредственный // IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). – 2013. – № 46(18, part 1). – P. 235–240.
16. Experimental Determination of the Temperature in a Small Neighborhood of the Gas Infrared Sources / G.V. Kuznetsov, N.I. Kurilenko, G.Y. Mamontov, L.Y. Mikhaylova. – DOI:10.1051/epjconf/20158201021. – Текст: непосредственный // EPJ Web of Conferences. – 2015. – № 82 – 01021p.1–01021.p.4. – URL: https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/abs/2015/01/epjconf-tbet2014_01021/epjconf-tbet2014_01021.html (дата обращения 13.03.2023).

17. Maksimov, V.I. Verification of Conjugate Heat Transfer Models in a Closed Volume with Radiative Heat Source / V.I. Maksimov, T.A. Nagornova, N.I. Kurilenko. – DOI:10.1051/mateconf/20167201061. –// MATEC Web of Conferences. – 2016. – № 72. – 01061p.1–01061.p.5. – URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2016/35/mateconf_hmttsc2016_01061/mateconf_hmttsc2016_01061.html (дата обращения 13.03.2023).

18. Kuznetsov, G.V. Mathematical Modelling of Conjugate Heat Transfer and Fluid Flow Inside a Domain with a Radiant Heating System / G.V. Kuznetsov, N.I. Kurilenko, A.E. Nee. – DOI:10.1016/j.ijthermalsci.2018.05.010. – Текст: непосредственный // International Journal of Thermal Sciences. – 2018. – № 131. – P. 27–39.

19. Бодров, М.В. Температурный режим цеха металлообработки при использовании системы отопления на базе водяных ИК-излучателей / М.В. Бодров, А.А. Смыков, Д. Кузнецов. – Текст: непосредственный // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2020. – № 12 (214). – С. 38–40.

20. Bodrov, M. Energy Efficiency of Radiant Heating Systems Based on Water Emitting Profile / M. Bodrov, A. Smykov. – doi: 10.4123/CUBS.104.02. – Текст: непосредственный // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2022. – 104 Article № 10402.

21. Кузнецов Д. Профильный радиатор отопления : Патент РФ № 2021500360 на промышленный образец № 126310 ; опублик. 09.07.2021. – URL: <http://https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=61e91125c0a01c49689cf2e1dd0110b1> (дата обращения: 07.03.2023).

References

1. Bodrov M.V., Morozov M.S., Ruin A.E., Smykov A.A. Povyshenie energoeffektivnosti i ekspluatatsionnoi nadezhnosti sistem obespecheniya parametrov mikroklimata zhivotnovodcheskikh zdaniy i sooruzhenii [Improving the Energy Efficiency and Operational Reliability of Systems for Ensuring the Parameters of the Microclimate of Livestock Buildings and Structures]. In: *Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika (AVOK) [Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (ABOK)]*, 2022, no. 6pp. 38–42. (In Russ.)

2. Bodrov M.V. Ruin A.E., Smykov A.A. Povyshenie energoeffektivnosti proizvodstvennykh zdaniy za schet primeneniyluchistykh sistem otopleniya na baze vodyanykh infrakrasnykh izluchatelei [Improving the Energy Efficiency of Industrial Buildings through the Use of Radiant Heating Systems Based on Water Infrared Emitters]. In: *Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika (AVOK) [Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (ABOK)]*, 2022, no. 8. – S. 26–31.

3. Bodrov M., Smykov A., Morozov M., Shapoval A., Mironov V. Energy Efficiency of Radiant Heating Systems Based on WaterBased Radiant. In: *Civil Engineering Journal*, 2021, Vol. 9, no. 5, pp. 1546–1557. (In Engl.)

4. Fonseca N. Cuevas C., Lemort V. Radiant Ceiling Systems Coupled to Its Environment. Part 1: Experimental Analysis. In: *Applied Thermal Engineering*, 2010, no. 14-15 (30), pp. 2187–2195, DOI:10.1016/j.applthermaleng.2010.05.033.

5. Fonseca N., Bertagnolio S., Cuevas C. Radiant Ceiling Systems Coupled to its Environment. Part 2: Dynamic Modeling and Validation. In: *Applied Thermal Engineering*, 2010, no. 14-15 (30), pp. 2196–2203, DOI:10.1016/j.applthermaleng.2010.05.032. (In Engl.)

6. Fonseca N. Experimental Analysis and Modeling of Hydronic Radiant Ceiling Panels Using Transient-State Analysis. In: *International Journal of Refrigeration*, 2011, no. 4 (34), pp. 958–967, DOI:10.1016/j.ijrefrig.2011.01.007. (In Engl.)

7. Jia H., Pang X., Haves P. Experimentally-Determined Characteristics of Radiant Systems for Office Buildings . In: *Applied Energy*, 2018, no. 221, pp. 41–54, DOI:10.1016/j.apenergy.2018.03.121. (In Engl.)

8. Bojić M., Cvetković D., Marjanović V., Blagojević M., Djordjević Z. Performances of Low Temperature Radiant Heating Systems. In: *Energy and Buildings*, 2013, no. 61, pp. 233–238, DOI:10.1016/j.enbuild.2013.02.033. (In Engl.)

9. Yin Y.L., Wang R.Z., Zhai X.Q., Ishugah T.F. Experimental Investigation on the Heat Transfer Performance and Water Condensation Phenomenon of Radiant Cooling Panels. In: *Building and Environment*, 2014, no. 71, pp. 15–23, DOI:10.1016/j.buildenv.2013.09.016. (In Engl.)

10. Dudkiewicz E., Jezowiecki J. The Influence of Orientation of a Gas-Fired Direct Radiant Heater on Radiant Temperature Distribution at a Work Station. In: *Energy and Buildings*, 2011, no. 43 (6), pp. 1222–1230, DOI:10.1016/j.enbuild.2010.12.030. (In Engl.)

11. Rhee K.N., Kim K.W. A 50 Year Review of Basic and Applied Research in Radiant Heating and Cooling Systems for the. In: *Building and Environment*, 2015, no. 91, pp. 166–190, DOI:10.1016/j.buildenv.2015.03.040. (In Engl.)

12. Rhee K.N., Olesen B.W., Kim K.W. Ten Questions about Radiant Heating and Cooling Systems. In: *Building and Environment*, 2017, no. 112, pp. 367–381, DOI:10.1016/j.buildenv.2016.11.030. (In Engl.)

13. Jung N., Paiho S., Shemeikka J., Lahdelma R., Airaksinen M. Energy Performance Analysis of an Office Building in Three Climate Zones. In: *Energy and Buildings*, 2018, no. 158, pp. 1023–1035, DOI:10.1016/j.enbuild.2017.10.030. (In Engl.)

14. Imanari T., Omori T., Bogaki K. Thermal Comfort and Energy Consumption of the Radiant Ceiling Panel System. Comparison with the Conventional All-Air System. In: *Energy and Buildings*, 1999, no. 30 (2), pp. 167–175, DOI:10.1016/S0378-7788(98)00084-X. (In Engl.)

15. Kavga A., Karanastasi E., Konstas I., Panidis T. Performance of an Infrared Heating System in a Production Greenhouse. In: *IFAC Proceedings Volumes* (IFAC-PapersOnline), 2013, no. 46 (18, part 1), pp. 235–240, DOI:10.3182/20130828-2-SF-3019.00017. (In Engl.)
16. 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. In: *EPJ Web of Conferences*, 2015, no. 82, 01021p.1–01021.p.4, DOI:10.1051/epjconf/20158201021. (In Engl.) URL: https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/abs/2015/01/epjconf-tbet2014_01021/epjconf-tbet2014_01021.html (Accessed 03/13/23). (In Engl.)
17. Maksimov V.I., Nagornova T.A., Kurilenko N.I. Verification of Conjugate Heat Transfer Models in a Closed Volume with Radiative Heat Source. In: *MATEC Web of Conferences*, 2016, no. 72, 01061p.1–01061.p.5, DOI:10.1051/mateconf/20167201061. (In Engl.) https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2016/35/mateconf_hmttsc2016_01061/mateconf_hmttsc2016_01061.html (Accessed 03/13/23). (In Engl.)
18. 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. In: *International Journal of Thermal Sciences*, 2018, no. 131, pp. 27–39, DOI:10.1016/j.ijthermalsci.2018.05.010. (In Engl.)
19. Bodrov M.V., Smykov A.A., Kuznetsov D. Temperaturnyi rezhim tsekha metalloobrabotki pri ispol'zovanii sistemy otopleniya na baze vodyanykh IK-izluchatelei [Temperature Mode of the Metal Workshop When Using the Heating System on the Basis Water Infrared Emitters]. In: *Santekhnika, Otoplenie, Konditsionirovanie [Plumbing, Heating, AirConditioning]*, 2020, no. 12 (214), pp. 38–40. (In Russ., abstr. in Engl.)
20. Bodrov M., Smykov A. Energy Efficiency of Radiant Heating Systems Based on Water Emitting Profile. In: *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2022, 104 Article no 10402, doi: 10.4123/CUBS.104.02. (In Engl.)
21. Kuznetsov D. Profil'nyi radiator otopleniya [Profile Heating Radiator]. Patent RF no. 2021500360, 2021 (Publ. 07/09/2021. – URL: [http:// https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=61e91125c0a01c49689cf2e1dd0110b1](http://https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=61e91125c0a01c49689cf2e1dd0110b1) (Accessed 03/07/2023).