

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 697.7

М. В. БОДРОВ, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой отопления и вентиляции;
А. Д. ЕЛИЗАРОВ, магистрант; **А. Е. РУИН**, ассистент кафедры отопления
и вентиляции; **А. А. СМЫКОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры отопления
и вентиляции

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУЧИСТЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДЯНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ПРОФИЛЕЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-54-85; эл. почта: tes84@inbox.ru

Ключевые слова: водяное отопление, энергосбережение, лучистое отопление, инфракрасное излучение, излучающий профиль, тепловой поток, эпюры теплового потока.

В данном материале приведены результаты испытаний водяных инфракрасных излучателей, направленные на изучение удельного теплового потока. Полученные результаты могут быть применены при расчете и проектировании систем лучистого низкотемпературного отопления для выбора места расположения и монтажа инфракрасных излучателей в обслуживаемом здании.

Введение. При проектировании лучистых систем отопления необходимо обеспечить комфортное пребывание людей и обеспечить соблюдение санитарно-гигиенических требований рабочей зоны производственного помещения [1]. При этом необходимо учитывать расположение и высоту подвеса инфракрасных излучателей, определяемых в зависимости от объемно-планировочных решений отапливаемого здания, фактического расположения рабочих мест, наличия крановых балок и прочего технологического оборудования [2]. Следует обращать внимание на удельный тепловой поток греющих элементов системы инфракрасного отопления, расположенных над рабочими местами, который не должен превышать нормативных значений, приведенных в СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

Определение фактического удельного теплового потока облучаемой зоны затрудняется взаимным облучением этой поверхности двумя или несколькими источниками инфракрасного излучения. Для упрощения проектирования систем низкотемпературного лучистого отопления и расчета удельного теплового потока облучаемых зон авторами проведены исследования, направленные на изучение плотности лучистого потока тепловой энергии низкотемпературных водяных инфракрасных излучателей модельного ряда *Flower 125* предоставленных промышленным партнером ННГАСУ ООО «Флайт+Хоммель».

Результаты экспериментальных исследований. Исследования проводились на базе ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» в единственном на территории



Российской Федерации Учебно-научно-исследовательском центре «Системы отопления с использованием низкотемпературных инфракрасных излучателей» (УНИЦ «СОНИИ»). Оснащение приборной базы лаборатории и описание экспериментальной лабораторной установки по изучению и испытанию водяных низкотемпературных инфракрасных излучателей модели *Flower 125* приведено в ранее опубликованных материалах [3–6].

Дальнейшее испытание низкотемпературных систем лучистого отопления, посвященное исследованию плотности теплового потока водяных инфракрасных излучателей, проводилось при помощи электронного преобразователя потока излучения «Аргус-03». Пространственное положение для характерных точек измерения плотности теплового потока определялось мобильным лазерным дальномером «GLM50C» фирмы «BOSCH». Водяные инфракрасные излучающие профили марки *Flower 125* имеют неправильную, несимметричную геометрическую форму поперечного сечения, поэтому снятие показаний потока лучистой тепловой энергии проводилось при двух разных углах между нормалью излучателя и плоскостью измерения (при $\varphi_x = 0^\circ$ и при $\varphi_x = 90^\circ$).

В процессе проведения лабораторного эксперимента замерялись следующие характерные величины:

T_1, T_2 – температура теплоносителя в подающем трубопроводе экспериментальной установки, $^\circ\text{C}$;

$\tau_{\text{изл1}}, \tau_{\text{изл2}}$ – температура поверхности излучателя, $^\circ\text{C}$;

l_x – расстояние от поверхности излучателя до точки измерения, м;

$q_{\text{изл}}$ – плотность лучистого теплового потока, Вт/м^2 .

Результаты исследования удельного теплового потока для водяных инфракрасных излучателей марки *Flower 125* приведены в табл.

Выводы по полученным экспериментальным данным. Полученные результаты по плотности теплового потока при различной удаленности облучаемой поверхности от излучающего профиля *Flower 125* могут быть применены при проектировании систем лучистого отопления.

Для дальнейшего применения полученных данных необходимо провести математическую обработку результатов с построением регрессивных зависимостей для получения данных не только для условий проведенного эксперимента, но и при всех других возможных параметрах температур теплоносителя [2, 7–8]. В результате обработки полученных данных в программном обеспечении *MathCAD*, были построены полиномиальные кривые и описывающие их уравнения (кривая 1 при $T_1 = 90^\circ\text{C}$; кривая 2 при $T_2 = 60^\circ\text{C}$). Результаты математической обработки приведены на рис. 1 и 2.



Таблица

Результаты лабораторных испытаний инфракрасных излучателей

№ опыта п/п	l_x , м	$q_{\text{изл.1}}, \text{Вт/м}^2$		$q_{\text{изл.2}}, \text{Вт/м}^2$	
		$T_1 = 90^\circ\text{C}; \tau_{\text{изл.1}} = 88,5^\circ\text{C}$		$T_2 = 60^\circ\text{C}; \tau_{\text{изл.2}} = 59,6^\circ\text{C}$	
		$\varphi_x = 0^\circ$	$\varphi_x = 90^\circ$	$\varphi_x = 0^\circ$	$\varphi_x = 90^\circ$
1	0,1	101	103,1	65,2	66,9
2	0,2	78,5	80,7	49,1	50,6
3	0,3	65,2	67,6	40,8	42,2
4	0,4	54	56,1	34,9	36,6
5	0,5	44,7	46,9	26,8	28,3
6	0,6	37,9	40,3	23,1	24,5
7	0,7	32,8	34,9	21,4	23,1
8	0,8	28,8	31	18,3	19,8
9	0,9	26,3	28,7	15,8	17,2
10	1,0	22,5	24,6	15,1	16,8
11	1,1	19,5	21,7	12,4	13,9
12	1,2	17,2	19,6	10,6	12
13	1,3	13,3	15,4	8,5	10,2
14	1,4	12,1	14,3	7,5	9
15	1,5	9,7	12,1	6,4	7,8
16	1,6	7,9	10	5	6,7
17	1,7	7	9,2	4,8	6,3
18	1,8	6	8,4	3,9	5,3
19	1,9	5,2	7,3	3,3	5
20	2,0	4,6	6,8	2,9	4,4

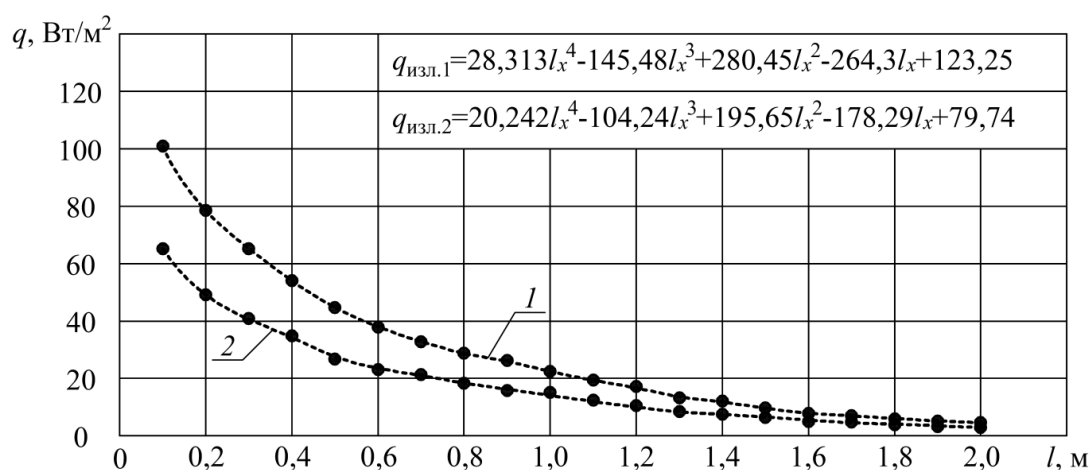


Рис. 1. Кривые плотности теплового потока для излучающего профиля *Flower 125* ($\varphi_x = 0^\circ$)

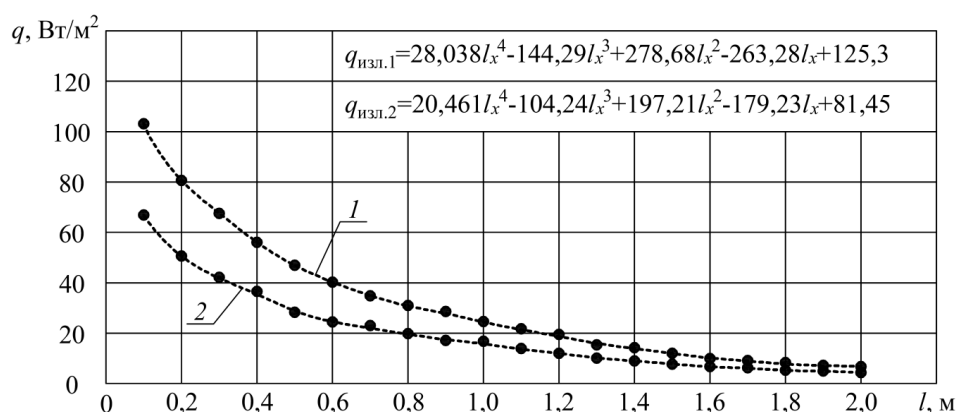


Рис. 2. Кривые плотности теплового потока для излучающего профиля *Flower 125* ($\varphi_x = 90^\circ$)

При проведении инженерных расчетов необходимо учитывать максимальную интенсивность теплового потока с учетом взаимного расположения инфракрасных излучателей в объеме отапливаемого здания [9–10].

Итоговое значение удельного теплового потока на облучаемую поверхность $q_{\text{изл}}^{\text{сум}}$, Вт/м², определяется суммированием эпюр плотности облучения $q_{\text{изл.}i}$, Вт/м², с учетом n -го количества вблизи расположенных инфракрасных излучателей:

$$q_{\text{изл}}^{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n q_{\text{изл.}i}, \quad (1)$$

Авторами были разработаны эпюры (рис. 3) распределения плотности теплового потока q , Вт/м², при взаимном облучении поверхности.

Заключение. Проведенные авторами испытания водяных инфракрасных профилей, посвященные исследованию плотности теплового потока на облучаемую поверхность, и построение эпюр плотности теплового потока при взаимном расположении инфракрасных излучателей значительно упрощает расчет и проектирование низкотемпературных систем лучистого отопления. Это позволит обеспечить комфортность пребывания людей и соблюдать санитарно-гигиенические факторы в рабочей зоне за счет исключения теплового контраста и застойных зон облучения, которые, в свою очередь, могут создавать условия для простудных заболеваний.

Полученные авторами результаты существенно упростят выбор проектных решений, связанных с взаимным расположением и высотой подвеса инфракрасных излучателей, а также расстоянием до ближайших ограждающих конструкций, рабочих зон и технологического оборудования производственных предприятий.

Отметим, что инновационные энергоэффективные системы лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей-профилей имеют высокий потенциал применения в помещениях различного назначения и нуждаются в дальнейшем изучении. При необходимости результаты исследования могут быть применены для получения необходимых значений теплового потока на поверхности человека и животных, а также на изготовленной продукции.

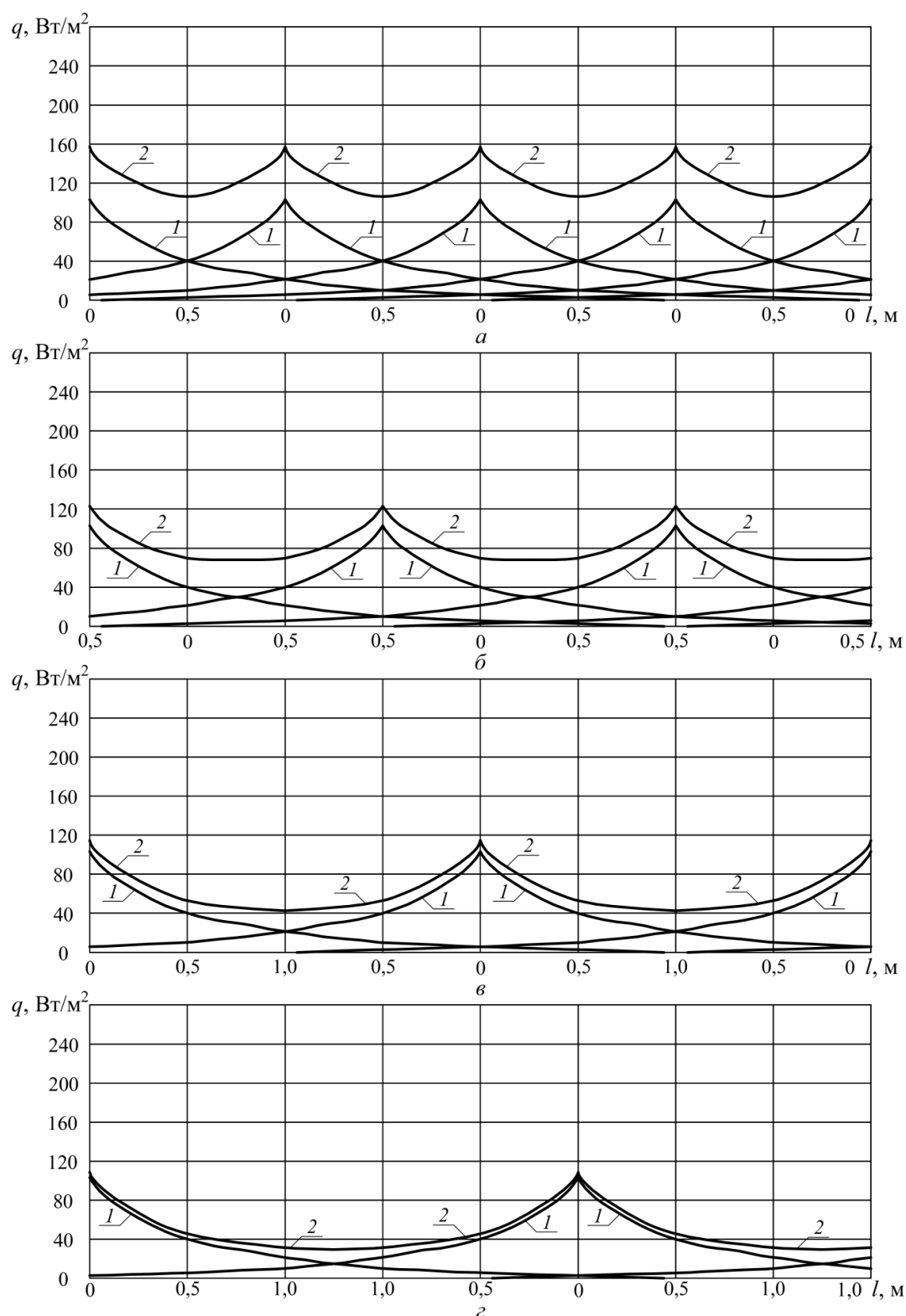


Рис. 3. Эпюры суммарного облучения поверхности излучающим профилем *Flower 125*:
a – шаг между излучателями $l = 1,0$ м; *б* – шаг между излучателями $l = 1,5$ м; *в* – шаг между излучателями $l = 2,0$ м; *г* – шаг между излучателями $l = 2,5$ м; 1 – эпюры облучения одиночных излучателей; 2 – суммарная поверхностная плотность энергии



В дальнейшем, при поддержке индустриального партнера ННГАСУ компании ООО «Флайг+Хоммель» авторами планируется провести комплекс исследований о возможности применения инфракрасных излучающих профилей в системах радиационного охлаждения в условиях летнего перегрева помещений, что повысит качество поддерживаемых параметров микроклимата в круглогодичном цикле эксплуатации жилых, общественных, административно-бытовых, производственных и сельскохозяйственных зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Radhi, S. S. Sustainable heating system by infrared radiators / S. S. Radhi, S. Z. Al-Khafaji, M. W. Falah. // *Sustainable Engineering and Innovation*. – 2022. – Vol. 4, № 1. – P. 42–52. – DOI 10.37868/hsd.v4i1.82.
2. Куриленко, Н. И. Исследование плотности теплового потока при работе газовых инфракрасных излучателей / Н. И. Куриленко, А. Н. Ермолаев, Л. Ю. Михайлова, В. В. Фомина // *Инновации и инвестиции*. – 2021. – № 7. – С. 95–98.
3. Бодров, М. В. Повышение энергоэффективности производственных зданий за счет применения лучистых систем отопления на базе водяных инфракрасных излучателей / М. В. Бодров, А. А. Смыков, А. Е. Руин // *Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. – 2022. – № 8. – С. 26–30.
4. Бодров, М. В. Исследование теплотехнических характеристик водяных инфракрасных излучателей для энергоэффективных систем лучистого отопления / М. В. Бодров, Д. А. Кузнецов, А. А. Смыков, А. Е. Руин // *Академия. Архитектура и строительство*. – 2023. – № 2. – С. 160–167.
5. Смыков, А. А. Испытания лабораторной модели лучистой системы отопления на базе водяных инфракрасных излучателей / М. В. Бодров, А. А. Смыков // *Сантехника, Отопление, Кондиционирование*. – 2023. – № 3. – С. 40–41.
6. Бодров, М. В. Испытание инфракрасных излучателей систем лучистого отопления с промежуточным теплоносителем / М. В. Бодров, А. А. Смыков, А. Е. Руин // *Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – Нижний Новгород, ННГАСУ. – 2025. – № 1. – С. 77–83.
7. Анализ диапазонов повышения энергоэффективности газового инфракрасного излучателя / Б. В. Борисов, А. В. Вяткин, В. И. Максимов, Т. А. Нагорнова, С. О. Салагаев. – Текст : электронный // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2023. – № 2. – С. 70–80. – DOI 10.18799/24131830/2023/2/3930.
8. Bodrov, M. Energy Efficiency of Radiant Heating Systems Based on Water-Based Radiant Profiles / M. Bodrov, A. Smykov, M. Morozov [et al.] // *Civil Engineering Journal*. – 2021. – Vol. 9, № 5. – P. 1546–1557. – DOI 10.13189/cea.2021.090525.
9. Borisov, B. V. Numerical simulation of heat transfer in a large room with a working gas infrared emitter / B. V. Borisov, G. V. Kuznetsov, V. I. Maksimov, T. A. Nagornova, N. Y. Gutareva // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Vol. 1675. – DOI 10.1088/1742-6596/1675/1/012074.
10. Борисов, Б. В. Инженерный метод оценки температуры и динамики ее изменения при отоплении помещения системой на основе газового инфракрасного излучателя / Б. В. Борисов, А. В. Вяткин, В. И. Максимов, Т. А. Нагорнова. – Текст : электронный // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2024, № 12. – С. 99–106. – DOI 10.18799/24131830/2024/12/4865.



BODROV Mikhail Valerevich, doctor of technical sciences, associate professor, holder of the chair of heating and ventilation; ELIZAROV Aleksandr Dmitrievich, master degree student; RUIN Aleksey Evgeyevich, assistant of the chair of heating and ventilation; SMYKOV Aleksandr Anatolevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heating and ventilation

STUDY OF THE RADIANT CHARACTERISTICS OF WATER INFRARED PROFILES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (831) 430-54-85; e-mail: tes84@inbox.ru

Key words: water heating, energy saving, radiant heating, infrared radiation, radiant profile, heat flow, heat flow diagrams.

This article presents the results of tests of water infrared radiators aimed at studying the specific heat flow. The results obtained can be applied in the calculation and design of radiant low-temperature heating systems for selecting the location and suspension of infrared radiators in a building under service.

REFERENCES

1. Radhi S. S., Al-Khafaji S. Z., Falah M. W. (2022). Sustainable heating system by infrared radiators. *Sustainable Engineering and Innovation*. Vol. 4, № 1. P. 42–52. DOI:10.37868/hsd.v4i1.82.
2. Kurilenko N. I., Ermolaev A. N., Mikhaylova L. Y., Fomina V. V. Issledovaniye plotnosti teplovogo potoka pri rabote gazovykh infrakrasnykh izluchateley [Investigation of heat flux density during operation of gas infrared radiators]. *Innovatsii i investitsii [Innovation and Investment Journal]*. 2021, № 7, P. 95–98.
3. Bodrov M. V., Smykov A. A., Ruin A. E. Povysheniye energoeffektivnosti proizvodstvennykh zdaniy za schet primeneniya luchistykh sistem otopeniya na baze vodyanykh infrakrasnykh izluchateley [Increasing the energy efficiency of industrial buildings through the use of radiant heating systems based on infrared water emitters]. *Ventilyatsiya. otopeniye. konditsionirovaniye vozdukha. teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika [Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermophysics]*. 2022, № 8, P. 26–30.
4. Bodrov M. V., Kuznecov D. A., Smykov A. A., Ruin A. E. Issledovanie teploekhnicheskikh harakteristik vodyanykh infrakrasnykh izluchateley dlya energoeffektivnykh sistem luchistogo otopeniya [Investigation of thermal engineering characteristics of water infrared radiators for energy-efficient radiant heating systems]. *Akademiya. Arhitektura i stroitelstvo [Academy. Architecture and Construction]*. 2023, № 2, P. 160–167.
5. Smykov A. A., Bodrov M. V. Ispytaniya laboratornoy modeli luchistoy sistemy otopeniya na baze vodyanykh infrakrasnykh izluchateley [Tests of a laboratory model of a radiant heating system based on water infrared radiators]. *Santekhnika, Otoplenie, Konditsionirovanie [Plumbing, Heating, Air conditioning]*. 2023, № 3, P. 40–41.
6. Bodrov M. V., Smykov A. A., Ruin A. E. Ispytaniye infrakrasnykh izluchateley sistem luchistogo otopeniya s promezhutochnym teplonositelem [Testing of infrared radiators of radiant heating systems with an intermediate heat carrier]. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. NNGASU. Nizhny Novgorod, 2025. № 1, P. 77–83.
7. Borisov B. V., Vyatkin A. V., Maksimov V. I., Nagornova T. A., Salagaev S. O. Analiz diapazonov povysheniya energoeffektivnosti gazovogo infrakrasnogo izluchatelya [Analysis of



ranges for improving the energy efficiency of a gas infrared radiator]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering], 2023, № 2, P. 70–80. DOI: 10.18799/24131830/2023/2/3930.

8. Bodrov M., Smykov A., Morozov M. [et al.] (2021). Energy Efficiency of Radiant Heating Systems Based on Water-Based Radiant Profiles. *Civil Engineering Journal*. 2021. Vol. 9, № 5. P. 1546–1557. DOI: 10.13189/cea.2021.090525.

9. Borisov B. V., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I., Nagornova T. A., Gutareva N. Y. (2020) Numerical simulation of heat transfer in a large room with a working gas infrared emitter. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1675. DOI: 10.1088/1742-6596/1675/1/012074.

10. Borisov B. V., Vyatkin A. V., Maksimov V. I., Nagornova T. A. *Inzhenerny metod otsenki temperatury i dinamiki ee izmeneniya pri otoplenii pomeshcheniya sistemoy na osnove gazovogo infrakrasnogo izluchatelya* [An engineering method for estimating temperature and the dynamics of its change during room heating by a system based on a gas infrared radiator]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]. 2024, № 12, P. 99–106. DOI: 10.18799/24131830/2024/12/4865.

© М. В. Бодров, А. Д. Елизаров, А. Е. Руин, А. А. Смыков, 2025

Получено: 04.08.2025 г.