

Научная статья

УДК 628.1 (082)

<https://elibrary.ru/cbfbkw><http://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-239-251>

## Исследование эффективности аддитивного инфракрасного отопления промышленных зданий на территориях с пониженными температурами наружного воздуха

О.А. Гребнева<sup>1✉</sup>, О.Л. Лавыгина<sup>2</sup>, А.В. Алексеев<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

<sup>1,3</sup>Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Россия

**Аннотация.** Обогрев промышленных зданий является сложной и трудоемкой задачей, требующей вложения больших денежных средств. Сложность задачи обуславливается большими габаритами рассматриваемых объектов и повышенными требованиями к их надежности, экономичности и энергоэффективности. Задача еще больше усложняется при ее рассмотрении для регионов России, в которых наблюдается большая продолжительность стояния низких температур. Существенное вложение денежных средств объясняется физическим и моральным износом существующих систем отопления, имеющих огромные тепловые потери. За счет больших размеров рассматриваемых типов объектов недвижимости сложно подобрать оборудование систем отопления, обеспечивающее поддержание требуемых температур внутри здания и удовлетворяющее всем перечисленным выше требованиям. Решением данной проблемы является использование популярных в настоящее время промышленных инфракрасных обогревателей, которые не только позволяют обеспечить равномерный обогрев рассматриваемого здания или помещения, но и значительную экономию энергоресурсов. Использование в качестве основного оборудования для систем отопления инфракрасных обогревателей позволяет организовать зональный (аддитивный) обогрев зданий любого типа и назначения с обеспечением различных температур воздуха даже внутри одного помещения. В данной статье на примере здания складского назначения проведены численные исследования эффективности создания аддитивных систем обогрева с газовыми инфракрасными излучателями (ГИИ). На основе анализа полученных результатов проведено экономическое обоснование предлагаемого технического решения.

**Ключевые слова:** система отопления, аддитивное отопление, инфракрасное отопление, инфракрасные обогреватели, регионы с пониженной температурой, энергоэффективные технологии

**Финансирование:** Исследование выполнено в рамках государственного задания программы фундаментальных научных исследований в РФ на 2021–2030 гг. (№ FWEU-2021-0002, AAAA-A21-121012090012-1).

**Для цитирования:** Гребнева О.А., Лавыгина О.Л., Алексеев А.В. Исследование эффективности аддитивного инфракрасного отопления промышленных зданий на территориях с пониженными температурами воздуха // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 239–251. <https://elibrary.ru/cbfbkw>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-239-251>.

Original article

### Study into the efficiency of additive infrared heating of industrial buildings in areas with low outside temperatures

Oksana A. Grebneva<sup>1✉</sup>, Olga L. Lavygina<sup>2</sup>, Aleksandr V. Alekseev<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

<sup>1,3</sup>Energy Systems Institute SB RA, Irkutsk, Russia

**Abstract.** Heating of industrial buildings is a complex and labor-consuming task requiring major financial investments. The complexity of this task grows in the case of large-size construction objects and strict requirements to their reliability, economic performance, and energy efficiency. The problem is

© Гребнева О.А., Лавыгина О.Л., Алексеев А.В., 2023

Том 13 № 2 2023

с. 239–251

Vol. 13 No. 2 2023

pp. 239–251

Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость  
Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate

ISSN 2227-2917

(print)

ISSN 2500-154X

(online)

239

even more complicated in those Russian regions, where low temperatures remain for a longer period of time. Significant financial investments are caused by the wear and obsolescence of the existing heating systems, leading to enormous heat losses. Due to the large size of the considered property types, it is difficult to select heating equipment that could provide the required temperatures inside the building while meeting all the aforementioned requirements. The solution can be found in the currently popular industrial infrared heaters, which provide both uniform heating of the building or room in question under significant energy savings. The application of infrared heaters as the main heating system equipment makes it possible to organize zonal (additive) heating of buildings of any type and purpose allowing different air temperatures even inside a single room. In this paper, a numerical study of the efficiency of additive heating systems with gas infrared emitters was carried out using a warehouse building as an example. Based on the analysis of the obtained results, the economic justification of the proposed technical solution was provided.

**Keywords:** heating systems, additive heating, infrared heating, infrared heaters, low temperature regions, energy saving and efficient technologies

**Funding:** The research was carried out within the framework of the state task (No. FWEU-2021-0002, Reg. No. AAAA21-121012090012-1) The Program of Fundamental Scientific Research in the Russian Federation for the long-term period (2021-2030).

**For citation:** Grebneva O.A., Lavygina O.L., Alekseev A.V. Study into the efficiency of additive infrared heating of industrial buildings in areas with low outside temperatures. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):239-251. (In Russ.). <https://elibrary.ru/cbfkbw>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-239-251>.

## ВВЕДЕНИЕ

Системы отопления промышленных объектов недвижимости должны обеспечивать благоприятные условия (температура внутреннего воздуха, влажность, воздухообмен, состав загрязнений и т.д.) как для нахождения обслуживающего персонала в рассматриваемом помещении (в рабочей зоне), так и для проходящих в них технологических и производственных процессов. В зависимости от типа и назначения производственных зданий зависит состав параметров и требований к микроклимату, устанавливаемые нормативными документами и стандартами<sup>1</sup>. В работах [1] доказано благоприятное воздействие инфракрасного лучистого отопления на самочувствие людей.

В соответствии со ст. 11 «Обеспечение энергетической эффективности зданий, строений, сооружений» Федерального закона<sup>2</sup>, од-

ной из первоочередных задач является использование при проектировании, эксплуатации и реконструкции систем жизнеобеспечения объектов недвижимости (в том числе и зданий промышленного назначения) современных технологий, обеспечивающих экономию и эффективность использования энергетических ресурсов, т.е. обеспечение их энергоэффективности<sup>2,3</sup> [2, 3] и отвечающих экологическим требованиям [4–6]. В современных условиях существующие системы обеспечения тепловой энергией зданий имеют значительный моральный и физический износ, и, как следствие, большие теплопотери. Поэтому эти системы требуют больших вложений при их эксплуатации, а также проведение профилактических и ремонтных мероприятий<sup>4</sup> [7, 8]. Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что вопрос создания энергоэффективных систем

<sup>1</sup>СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Допустимые величины параметров микроклимата на рабочих местах в помещениях // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (01.02.2023).

<sup>2</sup>Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 14.07.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2023) // [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12171109/> (01.02.2023).

<sup>3</sup>Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации за 2019 г. // Министерство экономического развития РФ [Электронный ресурс]. URL: [https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/gosudarstvennyy\\_doklad\\_o\\_sostoyanii\\_energoberezheniya\\_i\\_povyshenii\\_energeticheskoy\\_effektivnosti\\_v\\_rossiyskoy\\_federacii\\_za\\_2019\\_god.html](https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_energoberezheniya_i_povyshenii_energeticheskoy_effektivnosti_v_rossiyskoy_federacii_za_2019_god.html) (01.02.2023).

<sup>4</sup>Об утверждении муниципальной программы «Развитие инженерной инфраструктуры. Повышение энергоэффективности»: постановление от 21 января 2020 № 031-06-23/0 // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561713195> (01.02.2023).

обогрева зданий (особенно промышленного назначения) становится наиболее острым.

Одним из вариантов экономии энергетических ресурсов, а также увеличения энергетической эффективности систем отопления зданий промышленного назначения в целом является внедрение и использование систем аддитивного инфракрасного (или радиационного) отопления на основе газовых инфракрасных обогревателей [9]. Особенно это актуально для объектов недвижимости, расположенных в регионах, где наблюдается продолжительное стояние низких (отрицательных) температур.

Стоит отметить, что трудности в обеспечении промышленных объектов недвижимости возникают в следствие:

1) больших размеров зданий. Площадь помещений может достигать до десятков тысяч квадратных метров. Высота помещений промышленных объектов может достигать десятки метров. Эти факторы способствуют увеличению затрат на обогрев, так как, например, из-за необходимости поддержания повышенной температуры в рабочей зоне обслуживающего персонала требуется нагревать весь объем помещений. Для поддержания различных температур в пределах одного помещения приходится поддерживать наибольшую из них;

2) повышенных требований:

- надежности. Это требование связано с необходимостью непрерывности протекающих технологических и производственных процессов;
- энергетической эффективности как к объ-

ектам промышленной инфраструктуры.

- экономической эффективности. Уменьшение затрат на собственные нужды промышленных объектов, которые могут повлечь удорожание результатов деятельности объекта.

Исследованиям использования инфракрасного излучения для отопления зданий и его эффективности посвящены многочисленные работы [9–18]. Предметом данной статьи является исследование возможности и эффективности использования аддитивного инфракрасного обогрева промышленных зданий с газовыми промышленными инфракрасными обогревателями.

### СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Принцип работы инфракрасного отопления зданий и его сравнение с традиционным (конвективным) отоплением проиллюстрирован на рис. 1. Принцип работы инфракрасного отопления заключается в нагреве поверхности излучением, при этом нагревается поверхность, на которую они направлены, в результате чего происходит теплообмен и нагревается воздух. Преимуществом инфракрасного отопления над традиционным является нагрев требуемой поверхности, при этом максимальная температура воздуха достигается в зоне этой поверхности. При использовании традиционной системы отопления значение максимальных температур (за счет конвективного теплообмена) достигается вне рассматриваемой зоны.

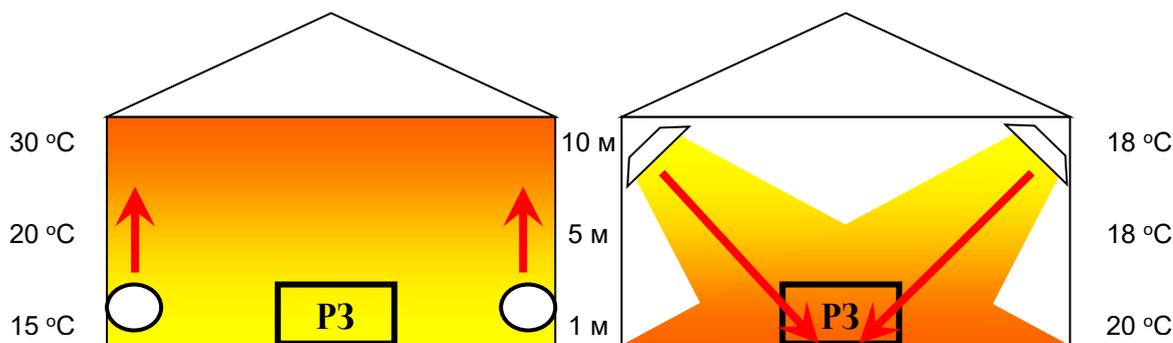


Рис. 1. Сравнение принципа работы систем традиционного (водяного) и инфракрасного обогрева здания:

PЗ – рабочая зона, → – направление распространения температурного фронта

Fig. 1. Comparison of the principle of operation of a traditional (water) and infrared building heating system:

WZ – work zone, → – direct of temperature front

На рис. 1 показано, как излучаемая инфракрасными излучателями энергия сосредотачивается и накапливается в приповерхностных слоях. Нагретая ограждающая конструкция посредством конвекции обеспечивает нагрев

непосредственно воздуха рабочей зоны. Таким образом, при использовании обогрева зданий с помощью ГИИ (рис. 2) средняя температура поверхностей ограждающих поверхностей (стен ( $t_{cr}$ ) и пола ( $t_n$ )) выше температуры воз-

духа непосредственно в рабочей зоне ( $t_{вр}$ ). При этом в свободном от инфракрасных лучей объеме помещения (на рисунке эта зона находится выше уровня установки ГИИ) температура ( $t_{в}$ ) ниже чем температура  $t_{вр}$  (согласно

СанПиН 1.2.3685-21<sup>1</sup> в рабочей зоне помещений промышленного назначения допускается снижение величины  $t_{вр}$  по сравнению с предусмотренными до 4°C [19].

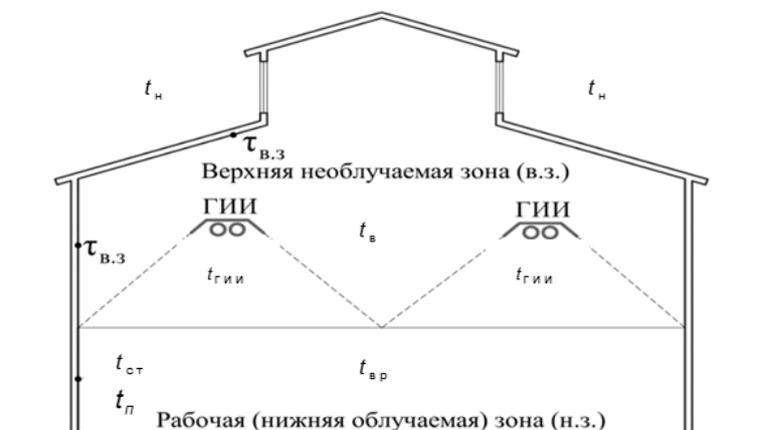


Рис. 2. Иллюстрация обогрева здания газовыми инфракрасными обогревателями  
Fig. 2. Illustration of heating a building with gas infrared heaters

Моделирование происходящего теплообмена при применении аддитивного отопления промышленных зданий является сложной задачей. Вопросам исследования математических зависимостей, используемых для описания и моделирования физических процессов, происходящих при обогреве зданий инфракрасными излучателями с учетом конвективной составляющей посвящена работа [20]. В дан-

ной работе они используются в качестве исходной модели.

#### ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта для исследования аддитивного инфракрасного отопления выбрано здание, выполняющее функцию складского помещения, общий вид которого приведен на рис. 3. В качестве места расположения выбран г. Иркутск.



a



b

Рис. 3. Общий вид (a) и разрез (b) выбранного здания  
Fig. 3. General view (a) and section (b) of the selected building

**Природно-климатическая характеристика района объекта исследования.** Климатологические характеристики района распо-

ложения здания приняты в соответствии с существующими строительными нормами и правилами<sup>5</sup>. Район расположения объекта отно-

<sup>5</sup>СП 131.13330.2020 Строительная климатология. Введ. 25.06.2021 // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (21.10.22);

СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Введ. 04.06.2017 // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318> (21.10.22).

сится к 1 климатическому району, подрайон 1В. Основные параметры климата г. Иркутска, не-

обходимые и используемые при проектировании систем отопления, сведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Характеристика климатических условий района эксплуатации здания складского назначения

**Table 1.** Climate characteristics for heating systems design

Параметр	Ед. изм.	Значение
Среднегодовая температура воздуха	°С	0,5
Средняя температура наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92)	°С	-33
Средняя температура наиболее холодных суток	°С	-37
Среднемесячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца	%	81
Температура воздуха наиболее жаркого месяца года (июля)	°С	17,6
Продолжительность отопительного сезона	сут	232
Средняя температура отопительного сезона	°С	-7,7
Нормативный скоростной напор ветра (для III района)	кПа	0,38
Нормативный вес снегового покрова (для II района)	кПа	1,2
Нормативная глубина сезонного промерзания	м	2,8

**Характеристика объекта исследования.** Характеристика складского помещения:

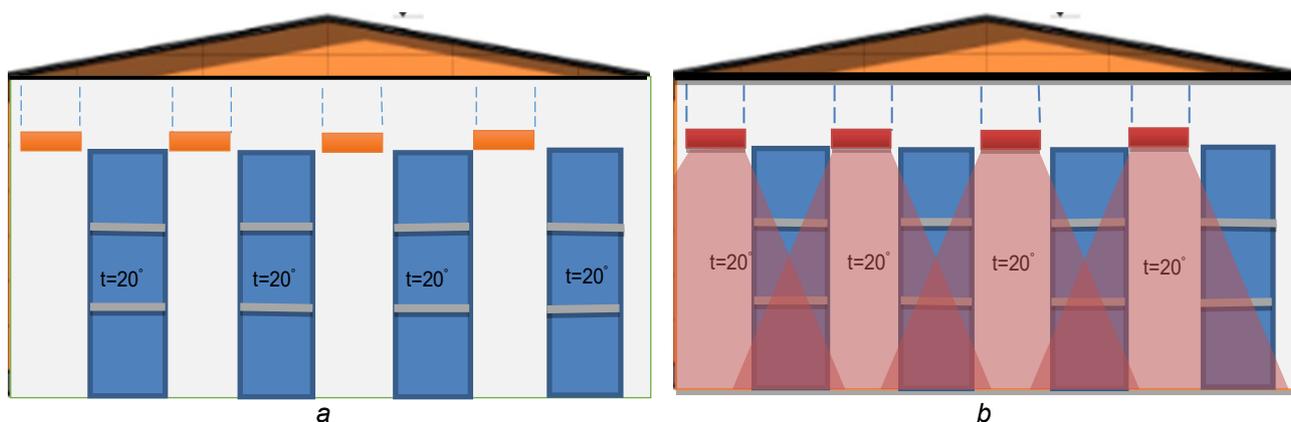
- 1) холодный/теплый склад 48 x 30 площадью 1 468 м<sup>2</sup>;
- 2) высота от пола до нижней точки несущих ферм – 5–7 м;
- 3) максимальная высота – 10 м.

**Проектирование аддитивной системы обогрева здания с газовыми инфракрасными излучателями.** Выберем схему размещения объектов инфракрасного отопления внутри выбранного складского помещения, исходя из двух вариантов обогрева:

- 1) с обеспечением единой температуры

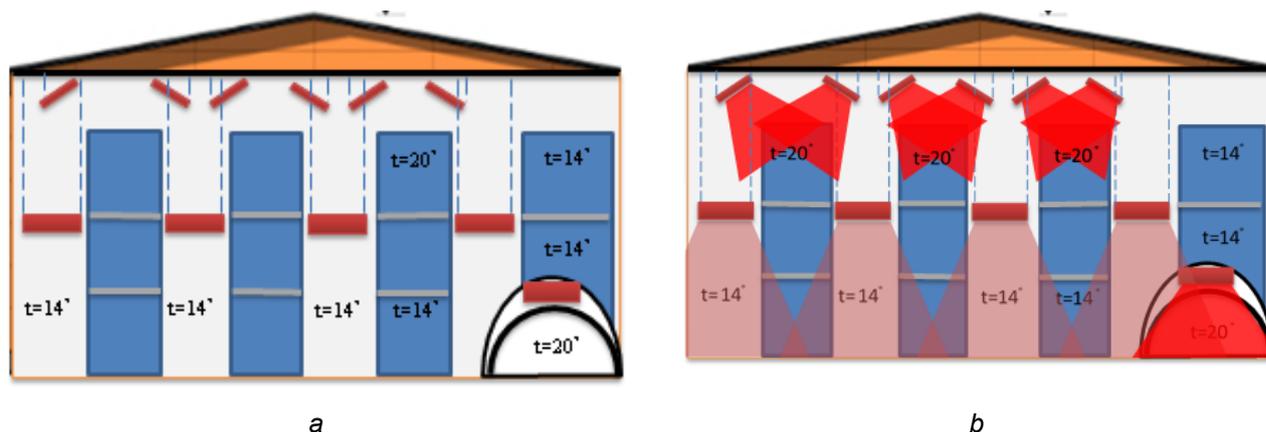
внутреннего воздуха из условия постоянного нахождения внутри помещения обслуживающего персонала (рис. 4, а). Созданные при этом температурные поля внутри помещения приведены на рис. 4, б. При таком обогреве промышленного здания будет наблюдаться перерасход средств, который можно сэкономить (как будет показано при экономическом обосновании) за счет организации второго типа отопления;

- 2) аддитивного инфракрасного отопления (рис. 5, а). Созданные при этом температурные поля внутри помещения приведены на рис. 5, б.



**Рис. 4.** Инфракрасное отопление складского помещения с обеспечением единой температуры внутреннего воздуха (а) и создаваемые при этом тепловые поля (б)

**Fig. 4.** Infrared heating of a warehouse with a uniform internal air temperature (а) and created thermal fields (б)



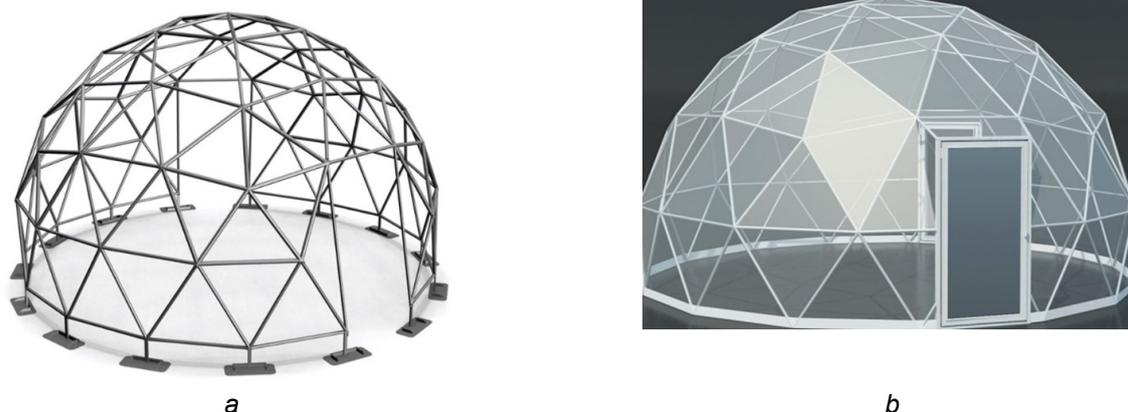
**Рис. 5.** Инфракрасное отопление складского помещения с обеспечением аддитивной температуры внутреннего воздуха (а) и создаваемые при этом тепловые поля (b)  
**Fig. 5.** Infrared heating of a warehouse with the provision of an additive temperature of the internal air (a) and the created thermal fields (b)

Как видно на рис. 5, а и б, при аддитивном отоплении в складском помещении создаются зоны с разными температурами внутреннего воздуха: верхняя зона – для хранения товаров с требованием повышенной температуры внутреннего воздуха (20°C); оставшаяся зона – для остальных типов товаров (14°C). Однако для зоны постоянного нахождения обслуживающего персонала требуется создание еще одной зоны с температурой 20°C. Для этого предлагается использовать специальную каркасную конструкцию куполообразной формы, покрытием для которой может служить либо стекло, либо менее дорогостоящие полимерные материалы (рис. 6).

Конструкция может иметь различные формы: сферический купол, прямоугольная форма, полностью закрытые, полуоткрытые и т.д. Дан-

ную конструкцию предлагается установить в складском помещении, как показано на рис. 7.

Установка данной конструкции позволяет существенно уменьшить конвективную составляющую при создании инфракрасного отопления, тем самым эффективно поддерживать требуемую локальную температуру. Подбор оборудования для создания аддитивного инфракрасного отопления. На примере объекта исследования, технические характеристики которого приведены выше, в статье проводились численные исследования эффективности применения аддитивного инфракрасного отопления и анализ полученных результатов в сравнении с инфракрасным (с обеспечением единой температуры во всем объеме рассматриваемого помещения) и традиционным водяным отоплением.



**Рис. 6.** Каркасно-металлический купол для создания зоны постоянного нахождения обслуживающего персонала (а) и один из вариантов его покрытия (b)  
**Fig. 6.** Frame-metal dome to create a zone of permanent residence of service personnel (a) and one of the options for its coverage (b)



**Рис. 7.** Схема расположения конструкции для постоянного нахождения людей (вид сверху)  
**Fig. 7.** The layout of the structure for the permanent presence of people (top view)

Теплопотери здания определялись на основе теплотехнического расчета его ограждающих конструкций двух вариантов:

1) при условии полного обогрева помещения. В результате расчета величина тепловых потерь составила

$$Q = 104038.2 \text{ Вт} \approx 0.104 \text{ МВт} \approx 0.121 \text{ Гкал/ч};$$

2) при условии зонального обогрева. В результате расчета величина тепловых потерь составила

$$Q = 83230.6 \text{ Вт} \approx 0.083 \text{ МВт} \approx 0.097 \text{ Гкал/ч}.$$

В качестве приборов отопления приняты газовые инфракрасные излучатели ГИИ-10<sup>6</sup> (ООО «РегнумГаз», г. Екатеринбург).

Монтаж приборов обогрева – потолочный, настенный. Высота размещения газовых инфракрасных излучателей – 7 м.

Выбор типа оборудования и его количества проводится на основе расчета установленной мощности также для двух вариантов на основе зависимостей, приведенных в работах [5, 9].

В результате расчета установленная мощность газовых инфракрасных обогревателей составила:

1) при условии полного обогрева помещения –  $W = 88.12 \text{ кВт}$ ;

2) при условии зонального обогрева –  $W = 70.5 \text{ кВт}$ .

В соответствии с полученной величиной  $W$  для обогрева промышленного помещения выполнен подбор оборудования, состав ко-

торого представлен в табл. 2.

**Таблица 2.** Технические характеристики газовых инфракрасных излучателей ГИИ-10  
**Table 2.** Technical characteristics of gas infrared emitters ГИИ-10

Параметр	Значение
Тепловая мощность ГИИ, кВт	10
Тип монтажа	Потолочный, настенный
Количество: – вариант 1; – вариант 2	9 7
Расход газа при номинальной тепловой мощности: – для природного газа, м <sup>3</sup> /ч; – для сжиженного газа, кг/ч	1,0 0,78

Экономическое обоснование использования аддитивного инфракрасного отопления.

Ниже приводится расчет технико-экономических показателей при создании трех типов отопления:

1) инфракрасного отопления с обеспечением единого температурного поля;

2) аддитивного инфракрасного отопления с обеспечением зонального распределения температуры внутреннего воздуха;

3) традиционного водяного отопления.

*Инфракрасное отопление с ГИИ. Затраты*

<sup>6</sup>Газовый инфракрасный излучатель ГИИ-10 (серия 2100) // Regnumgaz96.ru [Электронный ресурс]. URL: [https://www.regnumgaz96.ru/products/101784115-gazovy\\_infrakrasny\\_izluchatel\\_gii\\_10\\_seriya\\_2100](https://www.regnumgaz96.ru/products/101784115-gazovy_infrakrasny_izluchatel_gii_10_seriya_2100) (01.02.2023).

на эксплуатацию системы отопления с ГИИ в течение года можно определить как

$$Z_r^{\text{год}} = B_r \cdot C_r ; \quad (1)$$

$$B_r = 24 \cdot n \cdot b_r \cdot N \cdot k_r , \quad (2)$$

где  $B_r$  – годовой расхода газа,  $\text{м}^3$ ;  $C_r$  – стоимость  $1\text{кг м}^3$  газа (принимается согласно<sup>7</sup>,  $C_r = 2.75$  руб/кг); 24 – коэффициент для перевода размерности;  $n$  – количество излучателей;  $b_r$  – расход газа одного излучателя в час (согласно табл. 2 для ГИИ-10: природный газ –  $1,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; сжиженный газ –  $0,429 \text{ кг}/\text{ч}$ ). Для расчета годового расхода топлива выбираем в качестве сырья природный газ с  $b_r = 1.0 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ;  $N$  – продолжительность отопительного периода, сут;  $k_r$  – коэффициент использования отопительной системы: для производственного здания с автоматическим контролем температуры воздуха принимается равным 0,5. Учитывая (5), эксплуатационные затраты на обогрев здания ГИИ составят 68 904,00 руб/год.

**Аддитивное инфракрасное отопление с ГИИ.** Затраты на эксплуатацию системы отопления с ГИИ в течение года рассчитываются аналогично пункту 1 с использованием

формул (1)–(2). Годовые эксплуатационные затраты на обогрев здания ГИИ составят 53 592,00 руб/год.

**Традиционное водяное отопление.** Затраты на традиционную водяную систему отопления здания принимаются с учетом тарифа на тепловую энергию на территории, где расположено здание. Для простоты расчета принимаем тариф на тепловую энергию по тарифу для населения (для г. Иркутска – 1 733,30 руб/Гкал (с 01.12.2022 по 31.12.2023<sup>8</sup>).

Таким образом, годовые затраты на производство тепловой энергии для водяной системы отопления составят

$$Z_r^{\text{год}} = 0.121 \cdot 24 \cdot 233 \cdot 1730.30 = 1170776.35 \text{руб.}$$

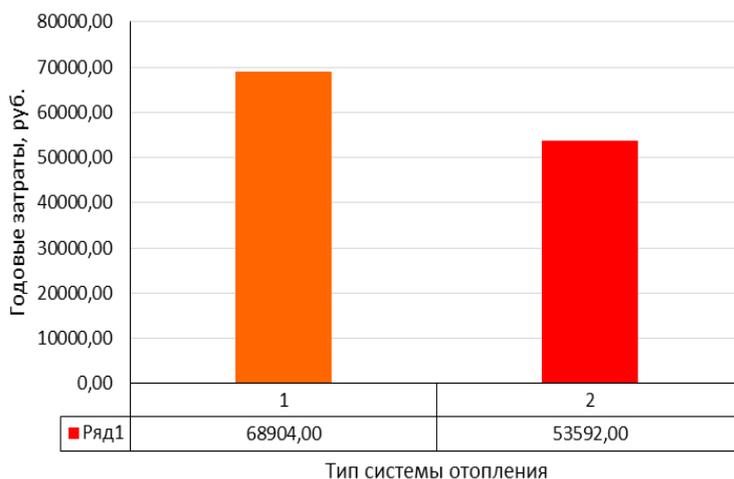
### АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты расчета годовых затрат на энергоресурсы, используемые оборудованием для обогрева выбранного здания, приведены в табл. 3 и на рис. 8 и 9.

Экономический эффект от создания аддитивного инфракрасного отопления по сравнению с традиционным водяным отоплением составляет  $(1170776,35 - 53592,00) / 1170776,35 \cdot 100 = 95,4\%$ .

**Таблица 3.** Результаты расчета затрат по разным типам систем отопления здания  
**Table 3.** Results of energy costs

Параметр	Инфракрасное	Аддитивное инфракрасное	Водяное
Годовые затраты, руб.	68 904,00	53 592,00	1 170 776,35



**Рис. 8.** Результаты расчета затрат для систем отопления разного типа:

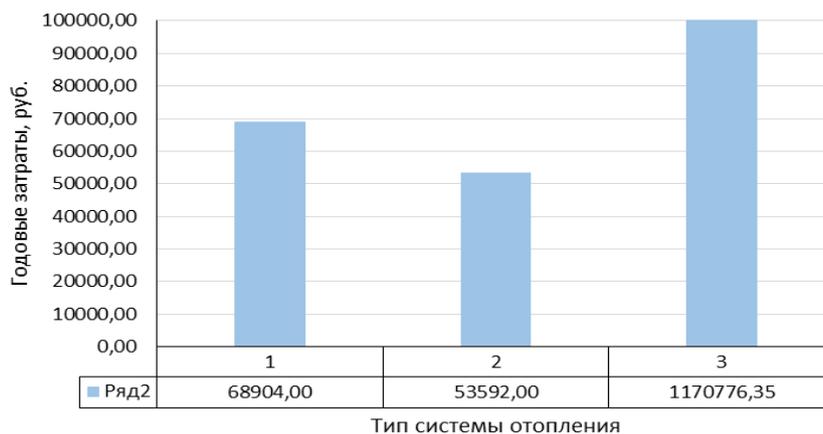
1 – инфракрасное; 2 – аддитивное инфракрасное

**Fig. 8.** Calculation results of different types heating systems:

1 – infrared heating system; 2 – additive infrared heating system

<sup>7</sup>Карта тарифов на природный газ с 1 января 2020 года // Энерго-24. [Электронный ресурс]. URL: <https://energo-24.ru/tariffs/gaz/gaz2020/13389.html> (01.02.2023).

<sup>8</sup>О внесении изменений в отдельные приказы службы по тарифам по Иркутской области: приказ от 29 ноября 11.2022 N 76-670-спр. Служба по тарифам Иркутской области // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/406408346> (01.02.23).



**Рис. 9.** Результаты расчета для систем отопления разного типа:

1 – инфракрасное; 2 – аддитивное инфракрасное; 3 – традиционное водяное

**Fig. 9.** Calculation results for heating systems different types:

1 – infrared heating system with gas infrared emitters; 2 – additive infrared heating system with gas infrared emitters; 3 – traditional water heating system

Экономический эффект от создания аддитивного инфракрасного отопления по сравнению с инфракрасным отоплением составляет  $(68904,00 - 53592,00) / 68904,00 * 100 = 22,2\%$ .

Из рис. 11 видно, что затраты на эксплуатацию традиционных водяных систем отопления выше, чем для систем отопления с инфракрасными излучателями, а создание аддитивного отопления (см. рис. 10) позволяет еще более снизить годовые затраты.

Для анализа экономической эффективности использования аддитивного инфракрасного отопления с использованием газовых инфракрасных излучателей рассчитаем срок окупаемости после проведения мероприятий по реконструкции системы отопления с заменой основного оборудования на ГИИ:  $T = K/P$ , где  $K$  – капитальные вложения;  $P$  – ожидаемая прибыль.

Анализ рынка оборудования для организации инфракрасного обогрева зданий показал, что средняя стоимость газового инфракрасного излучателя ГИИ-10 составляет 77 200 руб<sup>1</sup>. В данной работе для здания складского назначения требуется установка 9 и 7 таких обогревателей (в соответствии с вариантом обогрева здания).

Суммарные затраты на основное оборудование составят

1) при условии полного обогрева помещения – 694 800 руб.;

2) при условии зонального обогрева – 540 400 руб.

Кроме этого, необходимо учитывать затраты на монтаж оборудования, которые в среднем не превышают 30% от стоимости монтиру-

емого оборудования. Затраты на монтаж составят

1) при условии полного обогрева помещения – 208 440 руб.;

2) при условии зонального обогрева – 162 120 руб.

Капитальные вложения на систему отопления с ГИИ составят:

1) при условии полного обогрева помещения –  $K=903240,00$  руб./год;

2) при условии зонального обогрева –  $K=702520,00$  руб./год.

Ожидаемая прибыль от внедрения технического решения по организации аддитивного обогрева здания по сравнению с традиционной системой отопления составит

$$P = Z_1^i - Z_2^i = (1170776,35 - 53592,00) = 1117184,35 \text{ руб. /год.}$$

Таким образом, срок окупаемости  $T = 702520,00 / 1117184,35 = 0,63$  года  $\approx 8$  мес.

При создании инфракрасного отопления при условии полного обогрева помещения:

– ожидаемая прибыль составит  $P = Z_1^i - Z_2^i = (1170776,35 - 68904,00) = 1101872,35$  руб. /год;

– срок окупаемости составит  $T = 903240,00 / 1101872,35 = 0,82$  года  $\approx 10$  мес.

### ВЫВОДЫ

Обогрев производственных помещений, как было сказано ранее, является сложной задачей. Одним из способов преодоления трудностей, возникающих при ее решении, является использование инфракрасного отопления. Современные условия эксплуатации производственных помещений диктуют требования к созданию аддитивного (послойного) температурного фона для обеспечения возможности

создания зон с различными температурами внутреннего воздуха.

Численные исследования, проведенные в статье, подтвердили, что при использовании инфракрасного обогрева зданий существенно сокращается расход тепла по сравнению с водяным отоплением. А создание аддитивного инфракрасного отопления еще в большей степени усиливает этот эффект.

Как следствие, сокращение расхода тепла уменьшает затраты на систему отопления здания в целом. Еще большую степень экономии затрат можно достичь за счет выбора оптимального типа инфракрасного обогревателя для конкретного типа производственного помещения, исходя из условий его эксплуатации. При этом не следует забывать, что выбор типа

излучателя должен производиться с учетом требований к условиям их использования и эксплуатации.

Годовые затраты для обогрева здания при внедрении аддитивной системы отопления существенно сокращаются (на  $\approx 90\%$ , за счет зонного обогрева рабочих зон промышленного помещения) по сравнению с повсеместно используемыми традиционными водяными системами отопления.

Однако степень данного эффекта может быть различна для разных регионов вследствие различия тарифов на энергоресурсы. Этот факт требует обязательного учета при выборе типа системы отопления. Срок окупаемости для рассмотренных условий составил чуть меньше года.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шелехов И.Ю., Пожидаев В.В. Аддитивные инфракрасные системы обогрева // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 1. С. 124–129. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-1-124-129>. EDN: RAKSYU.
2. Grebneva O., Lavygina O. Study of ecological and economic efficiency for resource supplying organizations in the transition to alternative sources // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 751. No. 1. P. 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012007>.
3. Хан В.В., Деканова Н.П., Романова Т.А., Шареева С.А. Комплексный анализ эффективности энергосберегающих мероприятий для объектов социальной сферы Восточной Сибири на основе системного подхода // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 1. С. 84–93. EDN: YHGXFT.
4. Grebneva O., Lavygina O. Study of the possibility for reducing of environmental damage when the transition to alternative sources of heat supply systems in housing and communal services // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 880. No. 1. P. 012043.
5. Лавыгина О.Л., Гребнева О.А., Коробенкова О.В., Смоляр А.В. Оценка предотвращенного экологического ущерба при внедрении инновационных технологий в системах жилищно-коммунального хозяйства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 2. С. 234–241. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-2-234-241>. EDN: JRHHSP.
6. Lavygina O., Grebneva O. Study of changes in emissions into the atmosphere with the reconstruction of heat supply systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 880. No. 1. P. 012048.
7. Khan V.V., Dekanova N.P., Khan P.V. Actual problems of the operation of apartment buildings // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 880. P. 012044. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012044>.
8. Khan V.V., Dekanova N.P., Khan P.V. Assessment of the energy performance of buildings // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 880. P. 012045. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012045>.
9. Гребнева О.А., Широких А.Э., Макеева К.И. Эффективность инфракрасного обогрева производственных помещений в условиях Сибири // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 4. С. 552–559. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-4-552-559>. EDN: DJODXP.
10. Yurkevich Yu., Spodyniuk N. Energy-saving infrared heating systems in industrial premises // Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym. 2015. Vol. 2. No. 16. P. 140–144.
11. Chao Chen. Case Studies: Infrared Heating in Industrial Applications // ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. 2007. P. 6–28.
12. Aboud S.A., Altemimi A.B., Al-Hilphy A.R.S., Lee Yi-Chen, Cacciola F. A comprehensive review on infrared heating applications in food processing // Molecules. 2019. Vol. 24. No. 22. P. 4125. <https://doi.org/10.3390/molecules24224125>.
13. Aleksander Klepaczka. Possibilities of using infrared heaters in production of corrugated paperboard and packaging products // 2002.
14. Brown K.J., Farrelly R., O'Shaughnessy S.M., Robinson A.J. Energy efficiency of electrical infrared heating elements // Applied Energy. 2016. Vol. 162. P. 581–588. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.064>.

15. Butturini R., Ngo M. Flux mapping of radiant electric heaters. Maryland: U.S. Consumer Product Safety Commission, 2005. 20 p.

16. Schmidt F.M., Le Maout Ya., Monteix S. Modeling of infrared heating of thermoplastic sheet used in thermoforming process // *Journal of Materials Processing Technology*. 2003. Vol. 143–144. P. 225–231.

17. Куриленко Н.И., Максимов В.И., Мамонтов Г.Я., Нагорнова Т.А. Тепловой режим производственных помещений с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 101 с.

18. Шелехов И.Ю., Шишелова Т.И., Иноземцев В.П., Пожидаев В.В. Эффективная конструкция нагревательного элемента для инфракрасного обогрева // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2016. № 3 (18). С. 118–124. EDN: WMNBFV.

19. Бодров В.И., Смыков А.А. Температурный режим помещений с системами лучистого отопления // Конгресс «Устойчивое развитие регионов в бассейнах великих рек. приоритеты в условиях глобальных изменений», в рамках 17-го Междунар. науч.-промышленного форума «Великие реки –2015» (г. Нижний Новгород, 19–22 мая 2015 г.). Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. С. 76–80. EDN: VCGDBV.

20. Бодров В.И., Смыков А.А. Методика тепло-технического расчета наружных ограждающих конструкций зданий, отапливаемых инфракрасными излучателями // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. 2017. № 1 (181). С. 92–95. EDN: ZEOVBJ.

## REFERENCES

1. Shelekhov I.Yu., Pozhidaev V.V. Additive infrared heating systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2020;10(1):124-129. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-1-124-129>. EDN: RAKSYY.

2. Grebneva O., Lavygina O. Study of ecological and economic efficiency for resource supplying organizations in the transition to alternative sources. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;751(1):012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012007>.

3. Khan V.V., Dekanova N.P., Romanova T.A., Sharaeva S.A. Complex analyses of efficiency of energy effectiveness measures for the objects of social sphere in the Eastern Siberia on the basis of system approach. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real estate*. 2017;7(1):84-93. (In Russ.). EDN: YHQXFT.

4. Grebneva O., Lavygina, O. Study of the possibility for reducing of environmental damage when the transition to alternative sources of heat supply systems in housing and communal services. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;880(1):012043.

5. Lavygina O.L., Grebneva O.A., Korabenkova O.N., Smolyar A.V. An assessment of prevented ecological deprivation during the implementation of innovative technologies in the systems of housing and utility infrastructure. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2020;10(2):234-241. (In Russ.). EDN: JRHHSP. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-2-234-241>.

6. Lavygina O., Grebneva O. Study of changes in emissions into the atmosphere with the reconstruc-

tion of heat supply systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;880(1):012048.

7. Khan V.V., Dekanova N.P., Khan P.V. Actual problems of the operation of apartment buildings. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020;880:012044. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012044>.

8. Khan V.V., Dekanova N.P., Khan P.V. Assessment of the energy performance of buildings. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020;880:012045. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/880/1/012045>.

9. Grebneva O.A., Shirokih A.E., Makeeva K.I. Efficiency of infrared heating of industrial premises under Siberian conditions. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2020;10(4):552-559. (In Russ.). EDN: DJODXP. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2020-4-552-559>.

10. Yurkevich Yu., Spodynuk N. Energy-saving infrared heating systems in industrial premises. *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*. 2015;2(16):140-144.

11. Chao Chen. Case Studies: Infrared Heating in Industrial Applications. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry*. 2007:6-28.

12. Aboud S.A., Altemimi A.B., Al-Hilphy A.R.S., Lee Yi-Chen, Cacciola F. A comprehensive review on infrared heating applications in food processing. *Molecules*. 2019;24(22):4125. <https://doi.org/10.3390/molecules24224125>.

13. Aleksander Klepaczka. Possibilities of using infrared heaters in production of corrugated paper-board and packaging products // 2002.

14. Brown K.J., Farrelly R., O'Shaughnessy S.M., Robinson A.J. Energy efficiency of electrical infrared heating elements. *Applied Energy*.

2016;162:581-588.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.064>.

15. Butturini R., Ngo M. Flux mapping of radiant electric heaters. Maryland: U.S. Consumer Product Safety Commission; 2005. 20 p.

16. Schmidt F.M., Le Maout Ya., Monteix S. Modeling of infrared heating of thermoplastic sheet used in thermoforming process. *Journal of Materials Processing Technology*. 2003;143-144:225-231.

17. Kurylenko N.I., Maksimov V.I., Mamontov G.Ya., Nagornova T.A. Thermal regime of industrial premises with heating systems based on gas infrared emitters. Tomsk: Tomsk polytechnic university; 2013. 101 p.

18. Shelekhov I.Iu., Shishelova T.I., Inozemtsev V.P., Pozhidaev V.V. Effective construction of a heating element for infra-red heating. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2016;3:118-124. EDN: WMNBFB.

19. Bodrov V.I., Smykov A.A. Temperature regime of rooms with radiant heating systems. *Kongress «Ustoichivoe razvitie regionov v basseinakh velikikh rek. priority v usloviyakh global'nykh izmenenii», v ramkakh 17-go Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki –2015» = Abstracts of the "Great Rivers - 2015" 17<sup>th</sup> International scientific and industrial forum*. 19-22 May 2015, Nizhnii Novgorod. Nizhnii Novgorod: Nizhegorodskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universiteta; 2015. p. 76-80. EDN: VCGDBV.

20. Bodrov V.I., Smykov A.A. Method of thermal calculation external walling in a building with heating system based infrared emitters. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie = Plumbing, heating, air-conditioning*. 2017;1:92-95. EDN: ZEOVBJ.

### Информация об авторах

#### Гребнева Оксана Александровна,

к.т.н., доцент,  
доцент кафедры городского строительства и хозяйства,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
старший научный сотрудник,  
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия,  
e-mail: oksana@isem.irk.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1492-5552>

#### Лавыгина Ольга Леонидовна,

к.т.н., доцент,  
доцент кафедры городского строительства и хозяйства,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: olgakot81@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>

#### Алексеев Александр Владимирович,

к.т.н., старший научный сотрудник,  
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия,  
e-mail: alexeev@isem.irk.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-4051-8245>

### Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

### Information about the authors

#### Oksana A. Grebneva,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of Urban Construction and Economy,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
Senior Researcher,  
Energy Systems Institute SB RAS,  
130 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,  
e-mail: oksana@isem.irk.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1492-5552>

#### Olga L. Lavygina,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of Urban Construction and Economy,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
e-mail: olgakot81@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9558-5018>

#### Aleksandr V. Alekseev,

Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,  
Energy Systems Institute SB RAS,  
130 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,  
e-mail: alexeev@isem.irk.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-4051-8245>

### Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 12.01.2023.  
Одобрена после рецензирования 01.02.2023.  
Принята к публикации 03.02.2023.

**Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

**Information about the article**

The article was submitted 12.01.2023.  
Approved after reviewing 01.02.2023.  
Accepted for publication 03.02.2023.