

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО И ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОМЕЩЕНИЙ С СИСТЕМОЙ ВОДЯНОГО ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ

Бодров М.В.<sup>1</sup>, Руин А.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет «ННГАСУ», Нижний Новгород, e-mail: [tes84@inbox.ru](mailto:tes84@inbox.ru)

<sup>2</sup>Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет «ННГАСУ», Нижний Новгород, e-mail: [ruin199920@yandex.ru](mailto:ruin199920@yandex.ru)

---

Эффективность использования лучистых систем отопления была многократно доказана. Самым эффективным решением являются газовые инфракрасные излучатели, в которых нет промежуточного теплоносителя, и тепло от сгорания газа идет прямо в помещение. Но у этого решения есть ограничения по доступности газа, уровню комфорта и пожарной безопасности. Еще один эффективный вариант - водяные инфракрасные излучатели. Они могут быть в виде излучающих панелей или профилей, и в них используется промежуточный теплоноситель. Но, в отличие от газовых систем, они не имеют множества ограничений. Однако все типы лучистого отопления имеют общую проблему: нет научно обоснованного и общепринятого подхода к их проектированию. Большинство нормативных документов не учитывают особенности работы таких систем и, следовательно, не позволяют использовать все их преимущества. Исследование, на основе которого написана статья, проводилось в уникальной российской лаборатории лучистого отопления ННГАСУ. Оно было посвящено исследованию влияния систем лучистого водяного отопления на тепловой и температурный режим ограждающих конструкций здания. Данная система позволяет более эффективно использовать энергетические ресурсы.

---

Ключевые слова: отопление; теплофизика; водяное отопление; инфракрасное излучение; лучистое отопление; излучатель; энергоэффективность; энергосбережение.

## INVESTIGATION OF THE THERMAL AND TEMPERATURE CONDITIONS OF EXTERNAL ENCLOSING STRUCTURES OF ROOMS WITH A WATER RADIANT HEATING SYSTEM

Bodrov M.V.<sup>1</sup>, Ruin A.E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering "NNGASU", Nizhny Novgorod, e-mail: [tes84@inbox.ru](mailto:tes84@inbox.ru)

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering "NNGASU", Nizhny Novgorod, e-mail: [ruin199920@yandex.ru](mailto:ruin199920@yandex.ru)

---

The efficiency of using radiant heating systems has been repeatedly proven. The most effective solution is gas infrared radiators, in which there is no intermediate coolant, and the heat from the combustion of the gas goes directly into the room. But this solution has limitations on gas availability, comfort level and fire safety. Another effective option is water-based infrared emitters. They can be in the form of radiant panels or profiles, and they use an intermediate coolant. But, unlike gas systems, they do not have many limitations. However, all types of radiant heating have a common problem: there is no scientifically sound and generally accepted approach to their design. Most regulatory documents do not take into account the specifics of the operation of such systems and, therefore, do not allow using all their advantages. The research on the basis of which the article is written was conducted in the unique Russian laboratory of radiant heating of the NNGASU. It was devoted to the study of the influence of radiant water heating systems on the thermal and temperature regime of building enclosing structures. This system allows for more efficient use of energy resources.

---

Keywords: heating; thermophysics; water heating; infrared radiation; radiant heating; radiator; energy efficiency; energy saving.

**Введение.** В связи с постоянным ростом стоимости и потребления тепловой энергии вопрос снижения использования энергоресурсов стал одним из основных в мировой строительной отрасли [1]. Основным потребителем тепловой энергии являются здания с большим отапливаемым объемом [2]. Наиболее эффективный способ энергосбережения для таких зданий - использование систем

лучистого отопления [3]. Такие системы потребляют меньше тепловой энергии, чем конвективные, и при этом не снижают уровень комфорта [4].

Особенность систем лучистого отопления в том, что они подают тепловую энергию непосредственно в рабочую зону [5, 6]. Энергия от инфракрасного излучателя скапливается в поверхностном слое, создавая конвекционные потоки и нагревая воздух в зоне обслуживания. Это снижает общее энергопотребление [7].

**Цель исследования.** Лучистое отопление с использованием “светлых” или “темных” излучателей является наиболее энергоэффективным. В таких системах теплоноситель отсутствует, и тепло передается в помещение непосредственно от сжигания газового топлива. В помещениях с высокими требованиями к пожарной безопасности использование указанных излучателей недопустимо [8]. Применение “светлых” газовых излучателей приводит к выбросу продуктов сгорания в помещение и увеличению производительности принудительной вентиляции, что повышает стоимость системы. Также использование таких систем может оказаться экономически невыгодным из-за сложности подключения к газу во многих регионах.

Системы лучистого отопления, использующие водяные инфракрасные излучатели, считаются наиболее эффективными с неограниченной областью применения [9]. В качестве теплоносителя в такой системе выступает вода температурой до 150 °С, а отопительные приборы представлены алюминиевыми профилями сложной геометрической формы. От энергоносителя тепловая энергия передается к алюминиевому профилю, излучающему электромагнитные волны для обогрева рабочей зоны внутри помещения.

**Материал и методы исследования.** В основе УНИЦ «СОНИИ», ФГБОУ ВО ННГАСУ находится лаборатория лучистого отопления с ВИИ (рис. 1). Для оснащения лаборатории был приобретен ряд уникальных приборов, необходимых для проведения исследований.

Параметры профиля марки Helios 750: ширина/высота – 170/170 мм. Параметры профиля марки Flower 125: ширина/высота – 125/125 мм. Профили изготавливаются из коррозионностойкого, анодированного алюминиевого сплава (AlMgSi0,5), рабочее давление – 1 МПа. Опытные образцы были разработаны и предоставлены нашими промышленными партнерами. Наша испытательная установка состоит из инфракрасных профилей длиной в 1 метр каждый, которые можно включать и выключать по отдельности для имитации различных участков системы. Это позволяет нам использовать известные методы тестирования и разрабатывать новые методы проектирования систем лучистого отопления.



Рис. 1. Общий вид Лаборатории лучистого отопления

**Результаты исследования и их обсуждение.** Наружная стена используется в качестве элемента испытательного оборудования для изучения теплового режима помещения и позволяет изменять толщину изоляции от 0 до 150 мм. Для исследования были использованы теплоизоляционные панели «Пеноплэкс Основа» с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_B = 0,032$  Вт/(м·°С). Прибор «Теплограф» с модулем-02 использовался для измерения теплового потока. Измерения проводились в соответствии с методикой [7]. Схемы экспериментов представлены на рисунках 2 и 3.

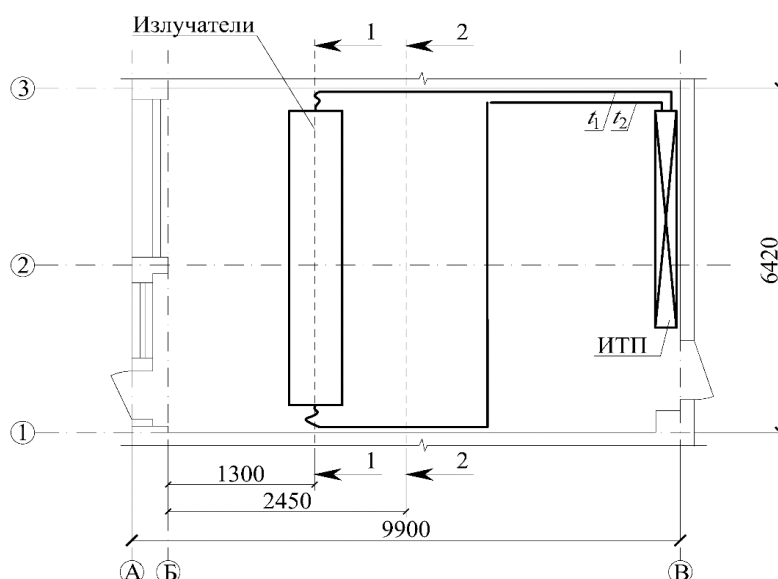
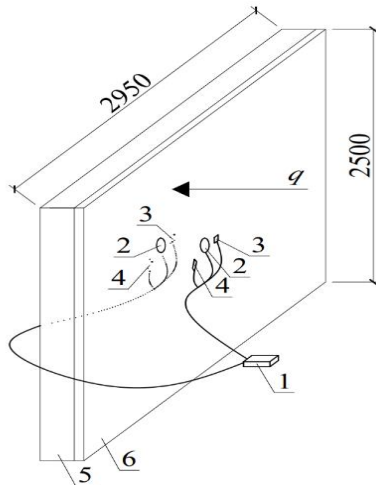
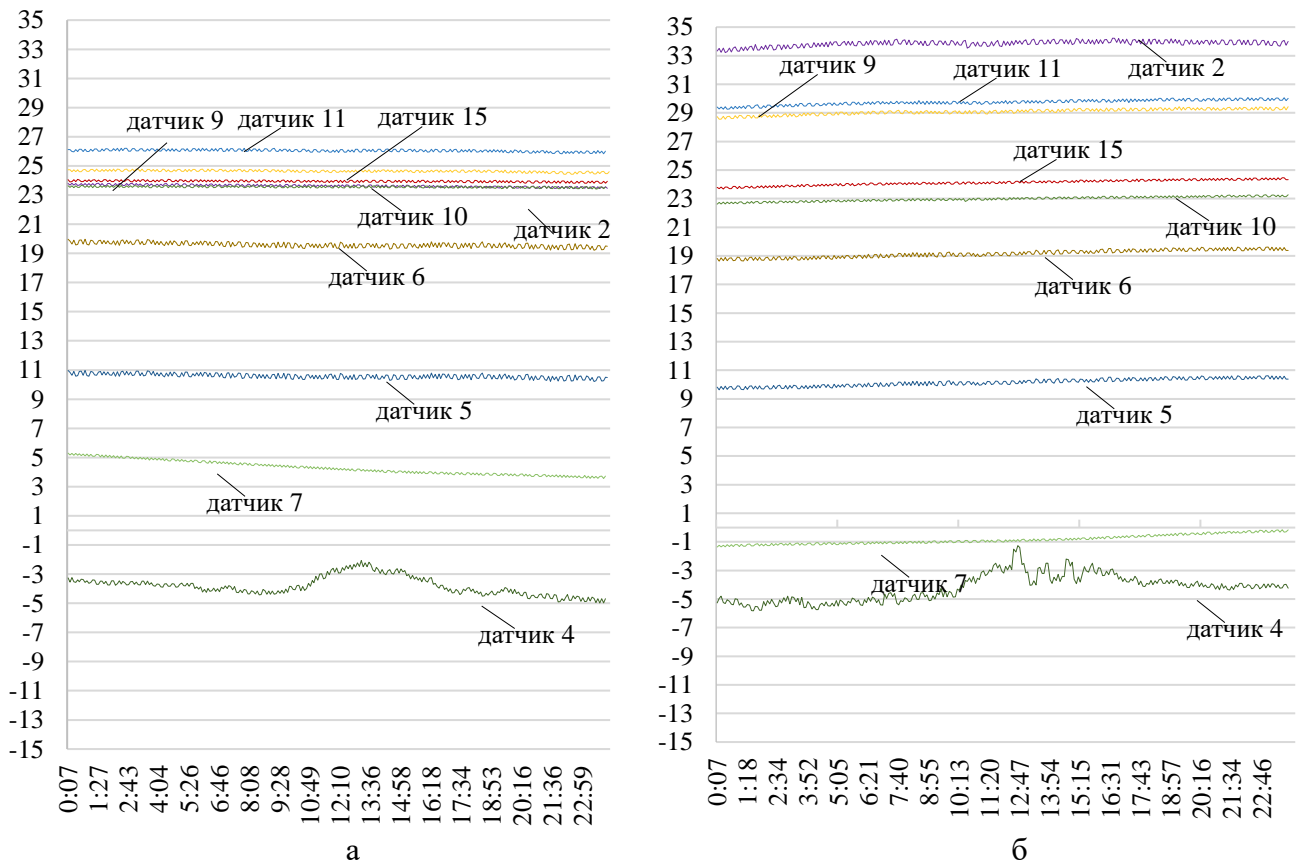


Рис. 2. План Лаборатории лучистого отопления ННГАСУ



**Рис. 3.** Лабораторная установка в составе: 1 – «Теплограф»; 2 – датчики плотности теплового потока; 3 – датчики температуры поверхности; 4 – датчики температуры воздуха; 5 – стена наружная; 6 – изоляция «Пеноплэкс Основа»

Мы исследовали температурный режим помещения при лучистой (первый этап) и конвективной (второй этап) системах отопления. В результате были получены следующие экспериментальные данные (см. рис. 4).



**Рис. 4** – Показания датчиков при исследовании температурного режима помещения: а, б – на первом и втором этапе соответственно.

По выше представленным результатам можно сказать следующие:

1. При первом этапе эксперимента показания датчиков на потолке меньше, чем во втором этапе, что говорит о меньшей температурной стратификации. При этом даже при размещении

датчиков непосредственно над излучающим профилем показатели ниже на первом этапе.

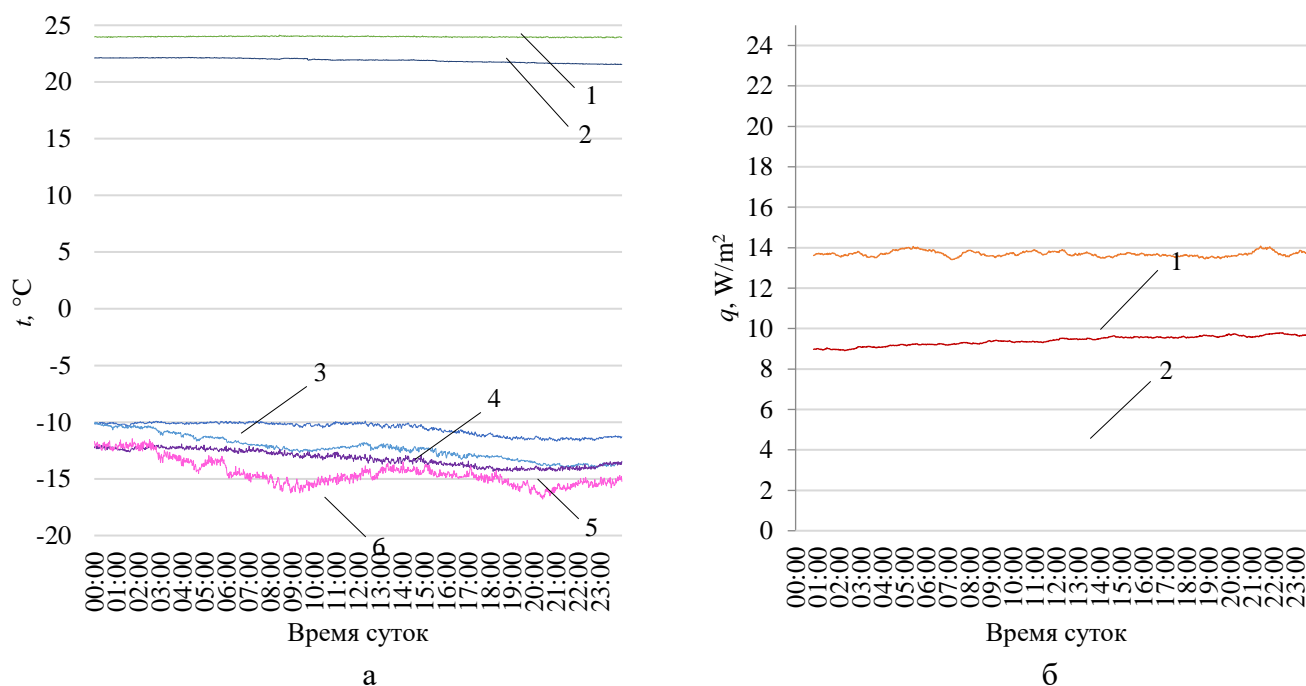
2. Датчики, располагаемые на поверхности потолка отапливаемого помещения, показали более низкие значения при применении лучистой системы отопления. Что указывает на меньшую температурную стратификацию при использовании лучистого нагрева.

3. Датчики, расположенные на полу, показали более низкие результаты при проведении второго этапа эксперимента, что обусловлено более низкой плотностью излучения поверхности пола.

4. Температурный режим рабочей зоны, во время проведения первого и второго этапа, почти не отличался, так как показания датчиков, располагаемых вдали от нагревательных приборов почти, не отличались.

5. Датчики, расположенные на стене вблизи отопительных приборов при проведении второго этапа эксперимента, показали более высокие данные.

Эксперименты проходили в два дня со схожими параметрами наружного воздуха. Параметры теплоносителя и мощности систем лучистого и конвективного отопления, для чистоты эксперимента, были отрегулированы. Полученные результаты показаны на рисунке 5.



**Рис. 5** - Показания датчиков. а – показания датчиков температуры: 1, 2 – температура на внутренней поверхности, во время проведения первого и второго этапа соответственно, 3, 4 – температура на наружной поверхности, во время проведения первого и второго этапа соответственно, 5, 6 – температура наружного воздуха, во время проведения первого и второго этапа соответственно; б – показания датчиков плотности теплового потока: 1, 2 – на первом и втором этапе соответственно.

По выше представленным результатам можно сделать следующие выводы:

1. Датчики, расположенные на наружной стене, показали более низкие показатели, что говорит об отсутствии ее облучения.

2. На втором этапе эксперимента температурный напор и тепловой поток были ниже, чем на первом этапе.

3. Во время второго этапа эксперимента, температурный напор между температурой внутреннего воздуха и температурой внешней поверхности был ниже, что указывает на более высокую относительную температуру на облучаемой поверхности.

**Выводы или заключение.** На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Системы лучистого отопления с применением водяных инфракрасных профилей могут значительно уменьшить температурную стратификацию внутреннего воздуха, не только в помещениях большого объема, но и в меньших, по объему, помещениях. В результате чего снижается для теплотерь через покрытие помещения.

3. Система позволяет снизить температуру воздуха рабочей зоны, за счет повышения радиационной температуры. Что позволяет снизить энергопотребление системы без снижения уровня температурного комфорта человека.

4. Система является наиболее энергоэффективной, что достигается за счет следующих факторов:

- снижение теплотерь через покрытие помещения за счет низкой температурной стратификации и как вследствие отсутствия тепловой подушки;

- уменьшение тепловой нагрузки на систему отопления достигается уменьшением температуры воздуха рабочей зоны, без снижения у ровня теплового комфорта;

- увеличение времени дежурного отопления и уменьшения времени переходного режима за счет низкой тепловой инерции системы.

## Список литературы

1. Башмаков, И.А. Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения в России и за рубежом / И.А. Башмаков // Новости теплоснабжения. – 2008. – №2 (90).
2. Бодров, В.И. Температурный режим внешних ограждений помещений с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей / В.И. Бодров, Л.Ю. Михайлова, А.А. Смыков // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 2 (34). – С. 58-64.
3. Бодров М. Энергоэффективность систем лучистого отопления на основе профилей излучения на водной основе / М. Бодров, А. Смыков, М. Морозов // Инженерно–строительный журнал. - 2021. – Т. 9, № 5. – С. 1546-1557.
4. Фангер, П.О. Расчет теплового комфорта: введение базового уравнения комфорта / П.О. Фангер // ASHRAE Transaction. – 1967. – Т. 73. – С. III4.1...III4.20.
5. Кузнецов, Г.В. Экспериментальное определение температуры в малой окрестности газовых инфракрасных источников / Г.В. Кузнецов, Н.И. Куриленко, Г.Ю. Мамонтов, Л.Ю. Михайлова // EPJ Web of Conferences. – 2015. – № 82.
6. Максимов, В.И. Верификация сопряженных моделей теплообмена в замкнутом объеме с излучающим источником тепла / В.И. Максимов, Т.А. Нагорнова, Н.И. Куриленко // МАТЕС Web of Conferences. – 2016. – № 72.
7. Юнг, Н. Анализ энергоэффективности офисного здания в трех климатических зонах / Н. Юнг, С. Пайхо, Дж. Шемейка, Р. Лахделма, М. Айраксинен // Энергетика и здания. – 2018. – № 158. – С. 1023-1035.
8. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Стандартинформ, 2021. – 156 с.
9. Фонсека, Н. Системы радиационного потолка, связанные с окружающей средой, часть 1: Экспериментальный анализ / Н. Фонсека, К. Куэвас, В. Леморт // Прикладная теплотехника. – 2010. – № 14-15(30). – С. 2187...2195.