

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНФРАКРАСНЫХ ВОДЯНЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Артем Чередник, Андрей Редько

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
 Адрес: Украина г.Харьков, ул. Сумская,40
 E-mail: artemcherednic@mail.ru

Аннотация. Описана система потолочного водяного панельно-лучистого отопления, проведены экспериментальные исследования по измерению величины плотности теплового потока, температуры воздуха, температуры теплоносителя, расхода теплоносителя, подтверждающие эффективность данной системы.

Ключевые слова: лучистое отопление, плотность теплового потока.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема энергосбережения является одной из важнейших для строительного комплекса Украины. Одним из вариантов энергосберегающих технологий является применение потолочного водяного панельно-лучистого отопления[2,12,21].

Потолочные панели уже несколько десятилетий используются для отопления помещений высотой от 2,5 до 30 м. Область применения потолочных панелей очень широка: это могут быть различные производственные помещения, торговые залы, склады, мастерские, гаражи, спортивные залы, офисы, помещения больниц, аэропорты и многие другие объекты [14].

Главное преимущество системы потолочных панелей перед другими видами отопления – принцип излучения: энергия, излучаемая панелями, не нагревая воздух, воздействует прямо на тела, находящиеся в помещении, преобразуясь в теплоту[4,5,18]. Эта теплота передается другим телам и воздуху, благодаря чему в помещении достигается наиболее экономичное распределение энергии (за счёт излучения для ощущения комфорта достаточно температуры воздуха на 2-3 К ниже, чем при использовании традиционной конвекционной системы), (рис.1).

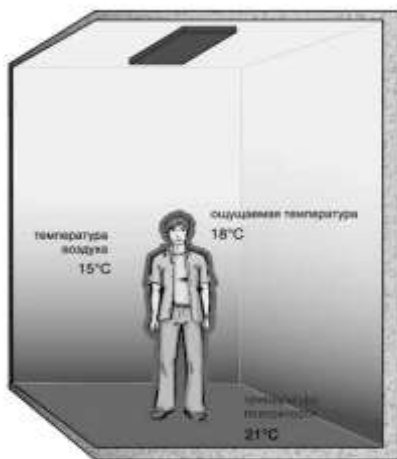


Рис.1. Отопление с помощью потолочных панелей

Fig.1. Heating via ceiling panels

А в результате равномерного распределения тепла и отсутствия конвективных процессов – здоровый и комфортный климат без сквозняков и пыли[20]. Это особенно важно для различных видов производства с повышенным образованием пыли, например, в деревообрабатывающей промышленности[16,17].

Использование потолочных излучающих панелей в сложных проектах позволяет сразу решить многие проблемы: поверхность панелей может быть гладкой или перфорированной для лучшего поглощения шума, с отверстиями под встроенные светильники и противопожарные датчики или с защитной решёткой от ударов мячей. Все потолочные панели лучевого отопления имеют высококачественное эмалевое покрытие. Кроме того, существуют варианты исполнения для помещений с повышенной влажностью и для встройки в фальш-потолки из гипсокартона. Если важна эстетика помещения, коллекторы панелей могут быть закрыты декоративной блендой, которая позволит установить в панелях дополнительное оборудование (датчики пожарной сигнализации, светильники, динамики и т.д.).

При сочетании потолочных инфракрасных панелей с вентиляционным оборудованием необходимо соблюдать требуемые скорости перемещения воздуха в рабочих зонах помещения и зонах временного пребывания людей.

Виды подключения потолочных панелей (рис.2):

- асимметрическое и симметрическое подключение. При свободном расположении панелей возможно асимметрическое подключение к трубопроводу. Если же панели установлены в подвесной потолок, рекомендуется симметрическое подключение с целью достижения равномерного расширения панели.

- одностороннее и разностороннее подключение. Обычно определяется исходя из конструктивных условий и расположения подвода теплоносителя.

Число параллельных труб определяется в соответствии с необходимым для данной панели массовым потоком.

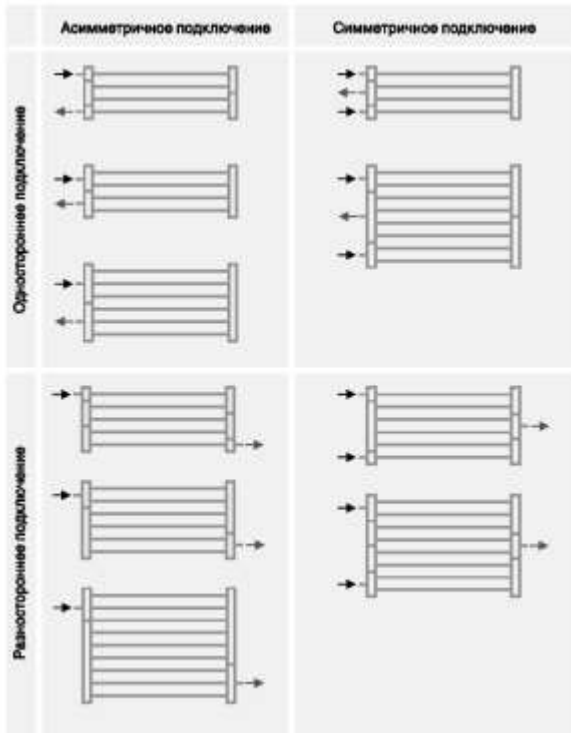


Рис.2. Виды подключения потолочных излучающих панелей

Fig.2. Types of connection radiant ceiling panels

В системах лучистого отопления возможно автоматическое регулирование системы (рис.3):

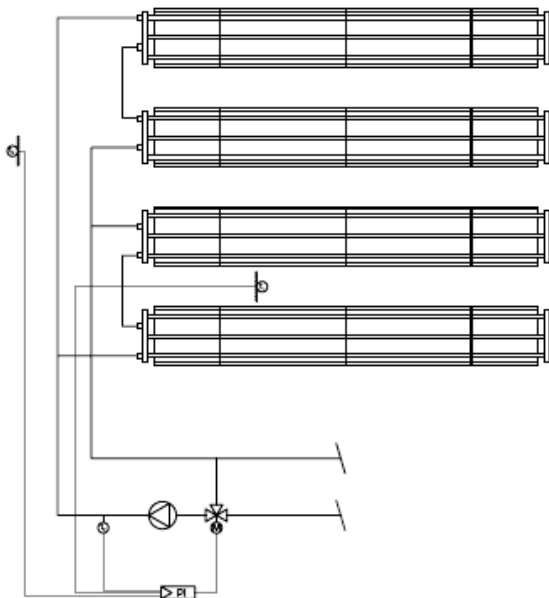


Рис.3. Регулирование температуры подающей линии с компенсацией температуры в помещении в зависимости от изменения внешней температуры

Fig.3. Regulation of the flow temperature compensated room temperature depending on the outdoor temperature changes

Составляющие данной системы:

- датчик температуры подающей линии;
- датчик внешней температуры;
- датчик температуры в помещении;
- регулятор температуры подающей линии с компенсацией температуры в помещении в зависимости от изменения внешней температуры;
- исполнительный элемент.

В качестве теплоносителя в потолочных излучающих панелях используется тёплая или горячая вода (от 40°C до 120°C), которая передаёт тепло трубам и излучающему экрану.

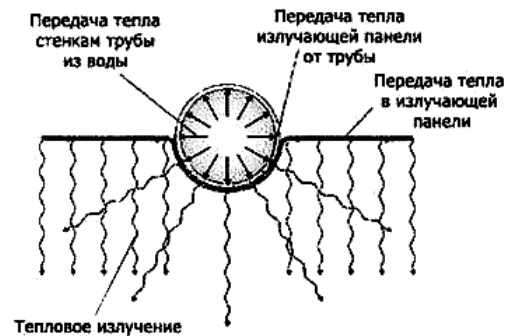


Рис.4. Принцип действия водяных панелей

Fig.4. Principle of operation of water panels

Нагретый экран начинает излучать волны в инфракрасном диапазоне. Так как потолочная панель покрыта сверху изоляцией, всё излучение идёт только вниз. Волны при соприкосновении с телами и поверхностями в помещении преобразуются в тепло (рис.4).

Нагретые таким образом тела также в свою очередь начинают излучать тепло, а также передавать его воздуху посредством конвекции. За счёт этого в помещении достигается ровный температурный профиль.



Рис.5. Внешний вид панели лучистого отопления (модель Zehnder ZIP)

Fig.5. Appearance panel radiant heating (model Zehnder ZIP)

В наше время достаточно много компаний занимается производством водяных лучистых панелей, такие как: ZEHNDER, KAMPMANN GMBH, BOKI, KROBAT, Билюкс и др. Одной из самых известных компаний является немецкая фирма ZEHNDER (рис.5) [1].

Потолочные излучающие панели характеризуются низкой тепловой инерционностью и обеспечивают короткое время реагирования, что позволяет существенно уменьшить энергозатраты. А так как инфракрасное излучение проходит сквозь воздух практически без потерь энергии (оно не нагревает воздух), а превращается в тепло непосредственно в рабочей зоне, такой вид отопления является наиболее эффективным и экономичным для помещений с большой высотой потолка.

Один из важнейших аргументов в пользу потолочных панелей перед другими видами оборудования - это высокий коэффициент полезного действия. Использование водяных потолочных инфракрасных панелей позволяет экономить до 40% энергии по сравнению с другими водяными или воздушными отопительными системами. И при этом гарантирует создание оптимального климата в помещении.

Экономия энергии возникает вследствие двух особенностей работы потолочных панелей. Во-первых, так как ощущаемая человеком температура является средним арифметическим температуры воздуха и температуры поверхностей (пола, стен и т.п.) в помещении, то при прямом нагреве этих поверхностей мы можем снизить температуру воздуха, оставив ощущаемую температуру на том же уровне. Вследствие незначительной разницы между температурой воздуха и температурой окружающей среды теплопотери сводятся к минимуму. Во-вторых, благодаря минимальному температурному градиенту уменьшается расход энергии на отопление помещения.

Потенциал сбережения энергии:

- Температура воздуха может быть на 3К ниже, чем при использовании традиционного оборудования.

- Стратификация воздуха очень мала.

- Короткое время нагрева помещения.

- Свободный выбор источника энергии; возможность использования альтернативных источников энергии: тепловых насосов; тепла, возникающего вследствие различных технологических процессов.

При использовании потолочных инфракрасных панелей тепловое излучение направляется сверху вниз в помещение. Распределение тепла в помещении зависит от его размеров, температуры поверхности и расположения панелей. Преимущество водяных

панелей: очень равномерное распределение тепла благодаря невысокой рабочей температуре и большой площади поверхности. При применении других систем с очень высокими температурами поверхности неизбежно возникновение температурных пиков и провалов.

Если в помещении уже имеется отопление, то с помощью потолочных панелей можно слегка повысить температуру в некоторой отдельной области. Обогрев отдельной зоны с соблюдением критериев теплового комфорта при отсутствии другого отопления невозможен.

Более высокая степень комфортности тепловой обстановки в помещении достигается за счет следующих мероприятий:

- повышения уровня радиационной температуры помещения. Это позволяет понизить температуру воздуха и, следовательно, улучшить конвективную теплоотдачу организмом человека, что при повышенной теплозащите одежды (в холодное время года) воспринимается человеком комфортно;

- равномерного распределения температуры воздуха по высоте помещения (рис. 6) [10] и отсутствия перегрева верхней зоны и недогрева нижней зоны помещения, что наблюдается при отоплении с помощью нагрева воздуха помещения (рис. 7) [10].

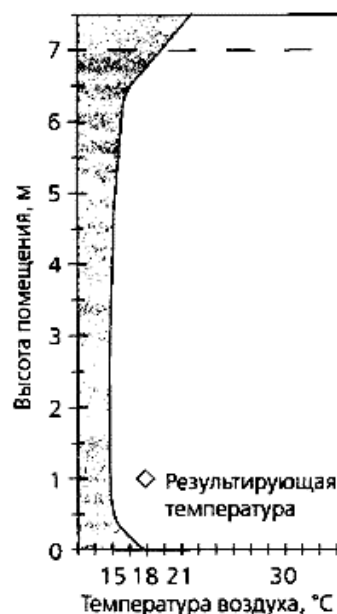


Рис.6. Вертикальный профиль температуры в помещении, отапливаемом панелями (а - температура на высоте 1 м от пола помещения, измеренная шаровым термометром).

Fig. 6. The vertical profile of temperature in the room, heated panels (a - the temperature at a height of 1 m above the floor space measured ball thermometer).

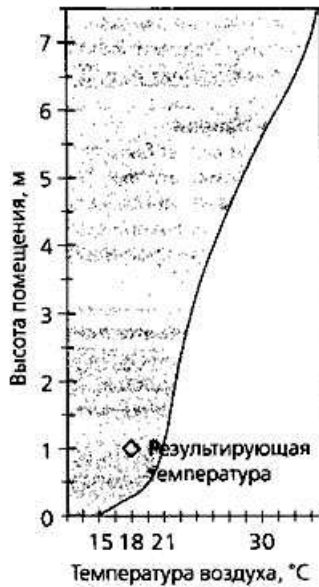
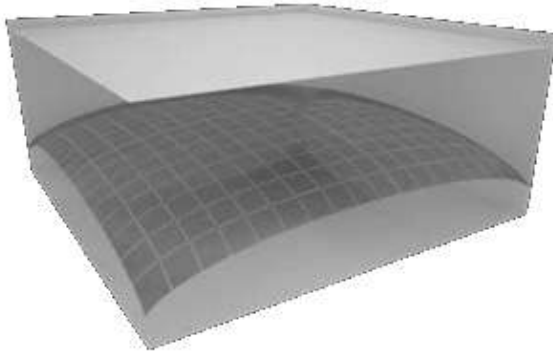


Рис.7. Вертикальный профиль температуры в помещении, отапливаемом воздушной системой (а - температура на высоте 1 м от пола, измеренная шаровым термометром)

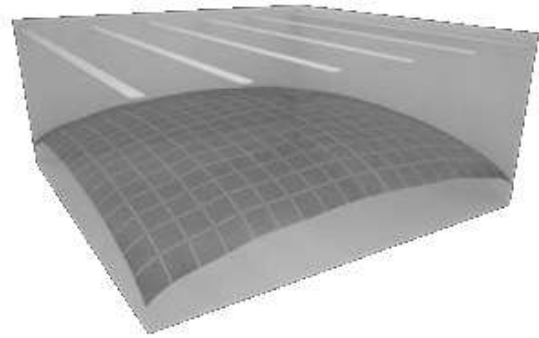
Fig. 7 - The vertical profile of temperature in the room, a heated air system (а - the temperature at a height of 1 m above the floor, measured ball thermometer).

Распределение интенсивности излучения в помещении, в зависимости от расположения панелей лучистого отопления (рис.8 а-е):



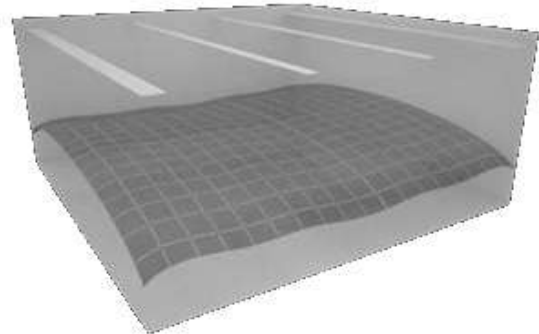
а) Полностью покрытый панелями потолок: неравномерное распределение интенсивности излучения с максимумом в центре помещения.

a) Fully covered with paneled ceiling uneven distribution of the radiation intensity with a maximum in the center of the room.



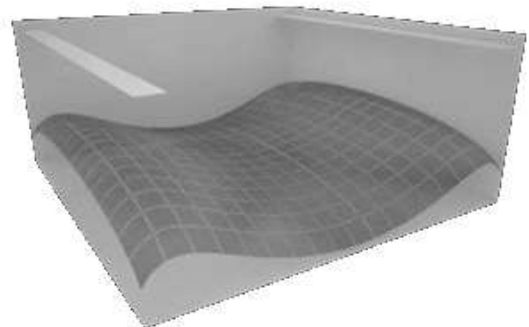
б) Шесть одинаковых панелей, расположенных с равными промежутками по всей ширине помещения: неравномерное распределение интенсивности излучения с сильным понижением у наружных стен.

b) Six identical panels, evenly spaced across the width of space: the uneven distribution of the radiation intensity with a strong decrease in the exterior walls.



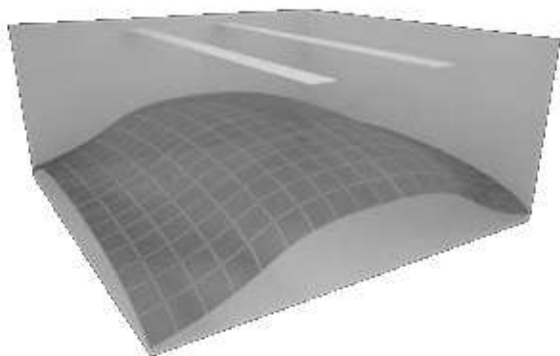
в) Две широкие панели, расположенные вдоль наружных стен, и две узкие панели в центре помещения: оптимальное распределение интенсивности излучения по всей площади помещения.

c) Two wide panels along the exterior walls, and two narrow panels in the center of the room: the optimal intensity distribution over the entire area of the room.



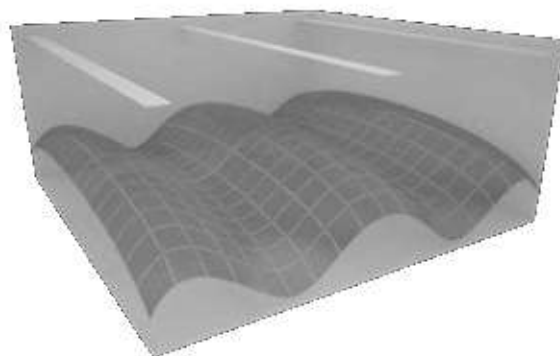
г) Две одинаковые панели, расположенные вдоль наружных стен: неравномерное распределение интенсивности излучения с максимумом у наружных стен.

d) Two identical panels along the exterior walls of uneven distribution of the radiation intensity with a maximum at the outer walls.



д) Две одинаковые панели, расположенные в центре помещения: неравномерное распределение интенсивности излучения с максимумом в центре помещения.

e) Two identical panels located in the center of the room: the uneven distribution of the radiation intensity with a maximum in the center of the room.



e) Три одинаковые панели, две расположены вдоль наружных стен, одна в центре помещения: неравномерное распределение интенсивности излучения с максимумами в центре помещения и у наружных стен.

f) Three identical panel, two are located along the outer walls, one in the center of the room: the uneven distribution of the radiation intensity with maxima in the center of the room and exterior walls.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Для оценки параметров систем лучистого отопления необходимо выполнить подробный расчет распределения лучистого тепла по внутренним поверхностям помещений, а также определять уровень облученности находящихся в них людей или животных с учетом закономерностей лучистого теплообмена. Наиболее полно закономерности лучистого теплообмена применительно к задачам строительной теплофизики рассмотрены В.Н. Богословским. Так, в монографии «Строительная теплофизика» [7] приведены основные зависимости и данные о распределении лучистого тепла по внутренним поверхностям ограждающих конструкций. В технической и справочной

литературе, например [3,11,19,22], имеются формулы и графики для расчета угловых коэффициентов облучения для конкретных условий взаимного расположения поверхностей, участвующих в теплообмене. Непосредственное использование этих формул для расчетов распределения лучистого тепла по поверхностям помещений весьма трудоемкая работа даже для компьютерных расчетов. Методики расчета лучистого отопления приводятся в справочном пособии Л.Д. Богуславского [8] и в справочнике проектировщика [6]. Конструктивные решения систем лучистого отопления и результаты исследований физиологического действия его на людей освещены в [13]. Для упрощения расчетов предложены вспомогательные материалы (таблицы, графики). Однако эти методики весьма сложны и разработаны для определенных типов нагревательных панелей, параметров теплоносителя и т.д. Поэтому применение их для практических расчетов зачастую не представляется возможным. Так в [9] были исследованы тепловые режимы панельных трубчатых излучателей с температурой 100-250 °С для водяных и теплоносильных систем радиационного отопления.

Общие требования к проектированию систем панельно-лучистого отопления:

Системы отопления должны быть рассчитаны на обеспечение в отапливаемых помещениях при расчетных параметрах наружного воздуха для соответствующих районов строительства и в течение отопительного периода температуры внутреннего воздуха в допустимых пределах, установленных в ГОСТ 30494-96 для жилых и общественных зданий и в ГОСТ 12.1.005-88 для административно-бытовых и производственных зданий, а также с учетом требований СНиП 41-01-2003.

Температуру теплоносителя следует принимать не менее чем на 20 % ниже температуры самовоспламенения веществ, находящихся в помещении. Горячие поверхности отопительного и вентиляционного оборудования, трубопроводов и воздухопроводов, размещаемых в помещениях, в которых они создают опасность воспламенения газов, паров, аэрозолей или пыли, следует изолировать, предусматривая температуру на поверхности теплоизоляционной конструкции не менее чем на 20 % ниже температуры их самовоспламенения.

Отопительное и вентиляционное оборудование, трубопроводы и воздухопроводы не следует размещать в указанных помещениях, если отсутствует техническая возможность снижения температуры на поверхности изоляции до указанного уровня.

Температуру поверхности панелей для обогрева отдельных рабочих мест не следует принимать выше 60°С.

Система отопления должна быть рассчитана на постоянное рабочее давление теплоносителя, но не менее 0,4 МПа при расчетной температуре теплоносителя. Пробное давление воды превышает рабочее давление в системе отопления в 1,5 раза, но не менее 0,6 МПа при постоянной температуре воды 95°C.

Система считается выдержавшей испытание, если в течение 5 мин, когда она находится под пробным давлением, потери давления не превысят 0,02 МПа и будет отсутствовать тяга в сварных швах, трубах, резьбовых соединениях, арматуре, отопительных приборах и оборудовании.

Комфортные параметры микроклимата при использовании систем панельно-лучистого отопления следует принимать по ГОСТ 30494-96 и СНиП 41-01-2003. Результирующую температуру помещения при использовании систем панельно-лучистого отопления на постоянных рабочих местах принимают равной нормируемой температуре воздуха в обслуживаемой зоне помещения. При этом температура воздуха в обслуживаемой зоне помещения не должна быть более чем на 3°C ниже результирующей температуры помещения, а поверхностная плотность лучистого теплового потока на рабочем месте не должна превышать 35 Вт/м².

Значение температурного напора при отоплении может быть рассчитано арифметически или может быть взято из таблиц [1]:

$$t_i = t_E = \frac{(t_U + t_L)}{2},$$

$$\Delta t_{uber} = \frac{(t_{HVL} + t_{HRL})}{2} - t_i,$$

$t_i = t_E$ - температура в помещении (°C) = ощущаемая температура (°C),

t_U - температура ограждающих конструкций (°C) = среднему арифметическому температур поверхностей предметов в помещении и температуры ограждающих поверхностей (°C),

t_L - температура воздуха (°C),

Δt_{uber} - температурный напор при отоплении (K),

t_{HVL} - температура подающей линии при отоплении (°C),

t_{HRL} - температура обратной линии при отоплении (°C).

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

На базе кафедры теплогазоснабжения вентиляции и использования вторичных энергоресурсов была спроектирована и

смонтирована экспериментальная установка с использованием потолочной панели фирмы Zenhder (Рис.9). Характеристики отопительной панели: ширина - 320 мм.; длина 3000мм.; материал панели - сталь; максимальная рабочая температура - 120 °С ; максимальное избыточное рабочее давление - 10 бар. Данная установка позволяет смоделировать фрагмент системы радиационного водяного отопления, применить известные в этой области методики испытаний, получить экспериментальные данные, которые можно будет использовать для совершенствования лучистого отопления.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Методика измерения включала определение следующих параметров: плотности радиационного потока, температуру теплоносителя, температуру воздуха, расход теплоносителя.

С помощью радиометра энергетической освещенности РАТ-2П были измерены плотность радиационного потока в зависимости от температуры теплоносителя и высоты подвеса панели, мощность системы в зависимости от расхода и температуры воды. Так же были проведены температурные измерения воздуха в рабочей и нерабочей зонах.

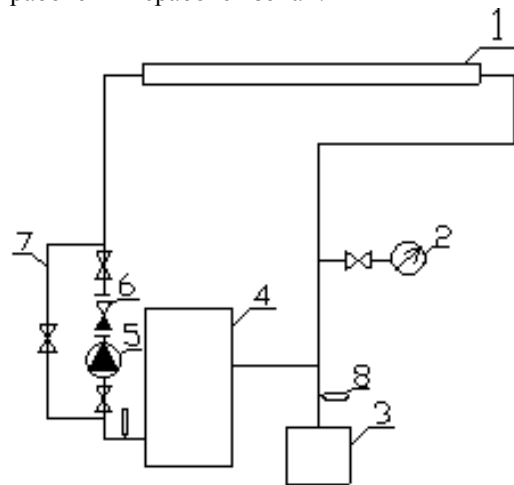


Рис. 9. Экспериментальная установка системы лучистого отопления (1- панель лучистого отопления; 2- водомер горячей воды; 3- расширительный бак; 4- котёл; 5- циркуляционный насос; 6- фильтр; 7- байпас; 8- термометр)

Fig. 9. Experimental setup radiant heating system

Результаты экспериментально полученных данных значения плотности радиационного потока в зависимости от температуры теплоносителя и температуры помещения представлены в таблице и на рисунках 10,11.

Таблица 1. Экспериментальные данные значения плотности радиационного потока (E Вт/м²)

Table 1. Experimental data values radiative flux density (E W / m²)

°C	H, м	1	1,5	2	2,5	3
50		26	16	11	8	7
60		33	21	14	9	8
70		45	25	15	10	8
80		52	31	17	12	10
90		65	39	27	19	15

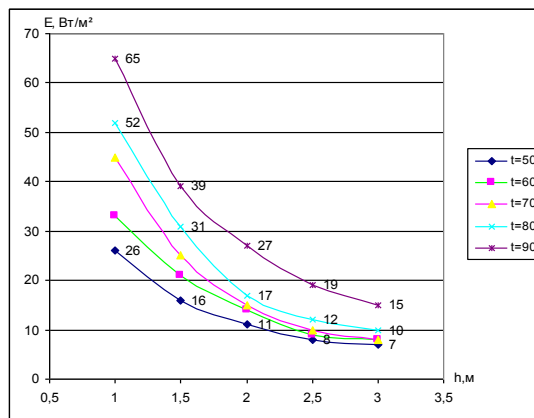


Рис. 11. Значение плотности теплового потока по высоте помещения

Fig. 11. Meaning of the heat flux density on the height of the room

В результате экспериментов и математической обработки данных было получено уравнение регрессии радиационного потока от температуры теплоносителя и высоты помещения[15]:

$$E = t \times 1,193887 + h^{-1} \times 30,489 + t \times h^{-1} \times 0,23045 + 7,06636 \text{ Вт/м}^2(1)$$

Точность полученного уравнения регрессии находится в пределах ± 10%.

Диапазон изменения переменных:

$$50 \leq t \leq 90 \text{ } ^\circ\text{C}; 0 \leq h \leq 3,5 \text{ м.}$$

На рис.12 показана поверхность плотности излучения от температуры теплоносителя и от высоты подвеса панели.

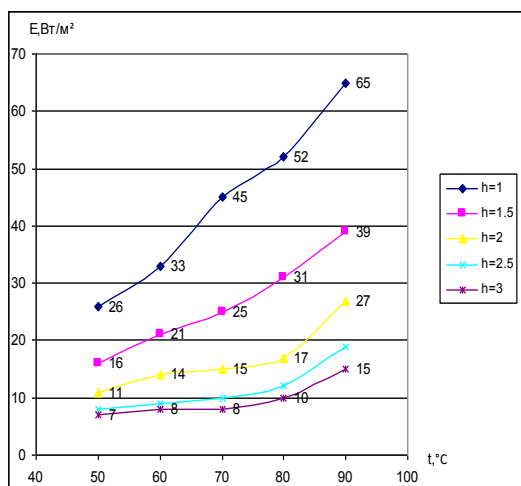


Рис. 10. Значение плотности теплового потока в зависимости от температуры теплоносителя

Fig. 10. Heat flux value depending on the temperature of the coolant

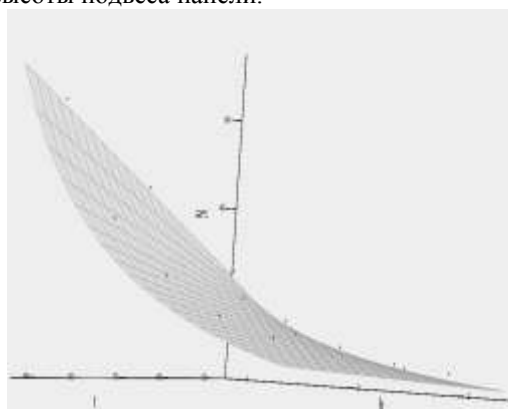


Рис.12. Поверхность плотности излучения
Fig.12. The surface density of the radiation

ВЫВОДЫ

Результаты экспериментов и обработки данных показали эффективность использования потолочного лучистого водяного отопления в производственных и административных помещениях, получено уравнение регрессии зависимости плотности теплового потока от температуры теплоносителя и высоты помещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zenhder ZBN. Система потолочного отопления и охлаждения. Техническая документация.— 62 с.
2. Абакумов В.А. Перспективы систем инфракрасного отопления /В.А. Абакумов, Т.В.Коваль //Промышленная энергетика. 2002. – №4. – С.35-37.
3. Банхиди А., Мачкаши Л. Лучистое отопление. – М.: Стройиздат, 1985. – 464 с.
4. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжкова Л.Н. Теплообмен излучением. Справочник. Энегоатомиздат, М., 1991. – 431 с.
5. Блох А.Д. Основы теплообмена излучением. – М, Госэнергоиздат, 1967. – 331 с.
6. Богословский В.Н., Крупнов Б.А., Сканава А.Н. и др. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч., ч 1. Отопление. Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: «Стройиздат», 1990. — 344 с.
7. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). Учебник для вузов. — М.: «Высшая школа», 1982. — 415 с.
8. Богуславский Л.Д. и др. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Справ. пособие.— М.: «Стройиздат», 1990. — 183 с.
9. Видиборец Н.М. Панельные трубчатые излучатели для систем радиационного отопления и охлаждения//Научно-технический сборник: КНУСА, 2011. -вып. 11. — с. 37-42.
10. Герасимов В.Н. Инфракрасный обогрев – один из способов выхода из энергетического кризиса /В.Н. Герасимов, В.И. Дрыгин //Энергосбережение. – 2001. – №7. – с. 6-7.
11. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача.— М.: «Энергия», 1981. — 416 с.
12. Инфракрасные системы отопления //МТТ. Мир техники и технологий. – 2005. –№8. – с. 66-67.
13. Миссенар Ф.А. Лучистое отопление и охлаждение. — М.: «Стройиздат», 1961. — 299 с.
14. Отопление цехов и залов // Энергетика: РЖ / ВИНТИ. – 2004. – № 11. – 04.11–22 С. 302. – Реф. ст.: Wer die Wahl hat, hat hier nicht die Qual // Stahl markit. – 2004. – Bd. 54, N 2. – S.54-55. – Нем.
15. Редько А., Редько А., Компан А., Павловский С., 2013. Математическое моделирование параметров утилизационной энергетической установки с органическим теплоносителем. MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. 2013. – Vol. 15–№6. – pp. 51–58.
16. Сканава А.И. Отопление. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1988. – 416 с.
17. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: ФГУП ЦНС, 2004. ~25 с.
18. Сперроу Э.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением. – Л.: Энергия, 1971. – 356 с.
19. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. 4.3. Отопление. Под ред. И.Г. Староверова и Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990. – 422 с.
20. Худенко А.А. Рациональное использование энергии в строительстве. – К.: Будівельник, 1980. – 143 с.
21. Шумилов Р.Н. Лучистое отопление – мифы и реальность /Р.Н. Шумилов, Ю.И. Толстова, А.А. Поммер // С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2006. – № 1. – с.56,58.
22. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Поммер А.А. Совершенствование методики расчета инфракрасного отопления. Материалы международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогасоснабжения и вентиляции». – М: Изд. МГСУ, 2005. – 107-112 с.

WATER EFFICIENCY INFRARED HEATING PANELS

Summary. A system of water ceiling radiant panel heating, experimental studies on the measurement of the density of heat flow, air temperature, coolant temperature, coolant flow rate, confirming the efficiency of the system.

Key words: radiant heating, heat flux density.