

УДК: 355.673.1

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛЕНОЧНОГО ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВАТЕЛЯ

Захаров А.С.¹, Крымов Р.С.²

^{1,2}Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181

¹e-mail: kelt_roman@mail.ru

Аннотация: В данной статье рассматривается применение инфракрасных систем отопления с целью обеспечения оптимальных температурных условий при минимальном энергопотреблении. Разработана физическая модель помещения, оборудованного пленочными инфракрасными обогревателями, для анализа температурных режимов и теплового баланса. Модель учитывает процессы теплопередачи, включая тепловыделение человеческого тела, конвективный теплообмен и инфракрасное излучение. Получены уравнения теплового баланса для воздуха, человеческого тела и внешних поверхностей, позволяющие оценить распределение тепла и энергоэффективность инфракрасной системы отопления, что улучшит тепловой комфорт и снизит энергозатраты в зданиях.

Ключевые слова: минимальное энергопотребление, инфракрасное отопление, тепловой баланс, инновационные технологии отопления, энергоэффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач энергетической политики Российской Федерации является экономия источников энергии в технологических процессах в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. [1, 2]. Основным требованием к системам отопления производственных помещений является поддержание параметров микроклимата в зонах обслуживания.

Анализируя текущее состояние существующих систем отопления производственных помещений, можно сделать вывод, что должное внимание уделяется высокоэффективным и энергосберегающим системам отопления и вентиляции [3]. К ним относятся инфракрасные отопительные системы, которые становятся все более распространенными в России.

Применение инфракрасных обогревателей даёт возможность создать комфортные условия при более низких температурах в помещении и поддерживать нужный температурный режим в рабочей зоне благодаря радиационному воздействию инфракрасного обогревателя. Уровень тепловой энергии, передаваемой излучением, варьируется в широких пределах и зависит от типа инфракрасного обогревателя (газового или электрического) [3].

Правильный выбор инфракрасного обогревателя играет ключевую роль в достижении желаемого результата. В инфракрасном диапазоне выделяют три основных типа излучения по длине волны: длинноволновое, средневолновое и коротковолновое. Стоит учитывать, что инфракрасное излучение воздействует преимущественно на поверхность объектов. Так, материалы вроде технологической пены характеризуются низкой теплопроводностью и требуют облучения с обеих сторон для эффективного нагрева. Отражающие поверхности, особенно металлические, могут существенно снизить эффективность нагрева, так как инфракрасные лучи отражаются от них. Наилучшего результата удастся достичь при работе с материалами, обладающими хорошими поглощающими свойствами. Важный аспект промышленного нагрева — обрабатываемый материал и его скорость обработки. Каждый продукт имеет уникальный коэффициент поглощения тепла, который определяет его чувствительность к инфракрасному излучению. Длина волны определяет тип вещества. Это можно перевести в градусы температуры, чтобы определить самую быструю реакцию материала на инфракрасное излучение [4].

Инфракрасное излучение является более горячим источником энергии по сравнению с конвекционным нагревом и требует расчёта времени воздействия для предотвращения перегрева и разрушения материала. Инфракрасное излучение — это разновидность электромагнитного излучения, и его лучистый нагрев был известен с древних времён. Солнечное тепло, свет костра и домашние радиаторы используют этот принцип. Инфракрасное тепло излучают все обогреватели, и наше тело не исключение. Тепловизионные камеры фиксируют инфракрасное излучение тёплых предметов домашнего обихода как оранжевое, красное или белое, а предметы с меньшим

излучением выглядят фиолетовыми или синими [5].

Важно понимать, что эффективное отопление возможно только при условии хорошей теплоизоляции дома и минимизации теплопотерь. В таком случае затраты на любой вид отопления, включая электрический обогрев, будут существенно ниже.

Особенность инфракрасного отопления заключается в том, что для комфортного пребывания в помещении достаточно более низкой температуры по сравнению с другими видами обогрева (рисунок 1).

Ключевым преимуществом является наличие термостата, который позволяет обогревателям работать только тогда, когда температура опускается ниже установленного значения. Без термостатического контроля обогреватели работают непрерывно, что приводит к перегреву помещения. В таких случаях приходится искусственно охлаждать помещение, открывая окна, а расходы на электроэнергию значительно возрастают.



Рис. 1. Различия между традиционным и инфракрасным отоплением [2]

Инфракрасное отопление может служить как основным, так и дополнительным источником тепла для создания комфортных условий в определённой зоне, например, возле рабочего стола или в зоне отдыха. Все люди знакомы с инфракрасным излучением, которое составляет значительную часть солнечного спектра. Это излучение невидимо для глаз и находится между красным концом спектра и радиоволнами. Люди ощущают инфракрасные лучи как тепло. Инфракрасные волны испускаются всеми объектами, и чем сильнее они нагреты, тем короче становятся волны. Первые инфракрасные обогреватели появились в Швейцарии в 1960-х годах, поэтому история инфракрасного отопления насчитывает более полувека [6]. Принцип работы системы с инфракрасными радиаторами похож на процесс излучения тепла солнцем. Разница заключается лишь в том, что инфракрасные излучатели работают от источника энергии, а не от термоядерной реакции. Кроме того, в отличие от солнца, инфракрасные обогреватели могут быть без видимого излучения или иметь слабое свечение. Это не влияет на качество обогрева, так как тепло передаётся поверхностям благодаря невидимому излучению [6]. Отзывы пользователей об инфракрасных обогревателях в целом положительные. Единственный недостаток — стоимость электроэнергии. Однако в долгосрочной перспективе это оборудование является хорошей альтернативой традиционному отоплению. За рубежом инфракрасные обогреватели широко используются для обогрева домов, уличных кафе, веранд и открытых площадок. В России это оборудование пока не так популярно, но с развитием технологий становится всё более востребованным. Важным преимуществом инфракрасных обогревателей является их положительное влияние на здоровье человека. Они помогают предотвратить грипп и другие респираторные инфекции, уничтожают вредные микроорганизмы и не наносят вреда мебели и человеку [7].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Изучением вопросов использования пленочного инфракрасного обогревателя для повышения

энергоэффективности занимались Базанова Е.В., Савельев А.А., Барышников А.А., Мустафин Н.Ш., Кузьмишкин А.А., Игнатьева Е.А., Забиров А.И., Наумова О.В., Чесноков Б.П., Кирюшатов А.И., Спиридонова Е.В. и др. Авторами рассмотрены вопросы высокоэффективных и энергосберегающих систем отопления и вентиляции, использование инфракрасных обогревателей для обеспечения комфортных условий в помещении, а также поддержание необходимого температурного режима.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках настоящего исследования разработана физическая модель помещения с интегрированной системой инфракрасного обогрева на основе пленочных элементов. Данная система предназначена для обеспечения температурного контроля и оптимизации условий в рабочей зоне.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Инфракрасное отопление представляет собой высокоэффективный и перспективный метод обогрева современных зданий. Его энергоэффективность особенно значима для крупных помещений. В отличие от традиционных систем, которые нагревают воздух, инфракрасное отопление воздействует непосредственно на поверхности и объекты в зоне излучения. Это ускоряет процесс равномерного распределения тепла и снижает общее энергопотребление. Исследования [1-3] подтверждают эффективность этого подхода.

Нагрев поверхностей внешних защитных элементов увеличивает среднюю температуру излучения в помещении, что повышает общий уровень комфорта. После проведения термомодернизации зданий особое значение приобретает внедрение энергоэффективных технологий и инновационных систем отопления. В условиях повышенных требований к термостойкости, предъявляемых энергетическим аудитом, организации и владельцы недвижимости активно ищут более эффективные методы отопления. Инфракрасные системы отопления представляют собой перспективную альтернативу, способную значительно снизить энергопотребление по сравнению с традиционными конвективными системами [4, 5].

Эффективность инфракрасных систем обусловлена их способностью создавать локализованные зоны теплового комфорта при одновременном поддержании необходимых параметров микроклимата. Это достигается за счет возможности интеграции с другими системами отопления и вентиляции [7].

Проектирование и внедрение инженерных решений в сфере отопления предполагают проведение комплексного научного анализа, направленного на оценку их воздействия на тепловой баланс организма человека и создание благоприятных микроклиматических условий для проживания. Для этого используются методы компьютерного моделирования, а также экспериментальные исследования, что подтверждается работами [8, 9].

Значительное количество научных исследований посвящено применению инфракрасного отопления в зданиях различного функционального назначения и архитектурных решений. В жилых зданиях, где отсутствует центральное отопление или его мощность недостаточна, использование локальных источников тепла, таких как инфракрасные обогреватели, является эффективным и практичным решением [9]. Инфракрасные обогреватели могут иметь разнообразные конструкции и конфигурации, включая высокоэффективные полимерные пленки, гибкие углеродные ткани с применением технологий текстильного формования, капиллярные системы, технологии высокоинтенсивного излучения, в частности электронагрев, а также непериодические кремниевые микроструктуры с нанокompозитами платины.

Системы инфракрасного напольного отопления известны своими низкими температурами и использованием нагревательных поверхностей, излучающих длинноволновые электромагнитные волны [8]. Эти системы обеспечивают уникальный уровень теплового комфорта и энергоэффективности для различных типов зданий. Инфракрасные отопительные системы широко используются в современных религиозных зданиях, таких как церкви и храмы. Их применение важно для создания комфортных условий для прихожан и удовлетворения специфических технологических и архитектурных требований. Эти системы разработаны с учётом особенностей религиозных зданий, обеспечивая эффективное решение функциональных и эстетических задач [10].

Инфракрасные отопительные системы также значительно повышают уровень теплового комфорта в сельскохозяйственных зданиях, устраняя проблемы конденсации и избыточной влажности, часто возникающие в помещениях с высокой влажностью при содержании животных или домашней птицы [10].

Технология инфракрасного обогрева строительных конструкций, особенно мостов, заслуживает особого внимания. Обледенение таких объектов представляет собой сложную проблему как с теоретической, так и с практической точек зрения, особенно в регионах с холодным климатом. Оно является основной причиной дорожно-транспортных происшествий [10]. Системы инфракрасного обогрева позволяют поддерживать требуемую температуру в железобетонных конструкциях. Инфракрасный нагрев обладает преимуществом в виде локализованного характера воздействия. Например, конвективный нагрев работает с воздухом, а инфракрасный греет поверхности напрямую. Это повышает эффективность теплообмена, что важно для контроля температуры в технологических процессах. Локальный нагрев позволяет адаптировать систему к разным конфигурациям компонентов без значительных изменений оборудования. Быстрая настройка и возможность быстро вносить изменения улучшают производственные процессы и увеличивают их продуктивность.

Современные технологии инфракрасного отопления включают постоянное обновление и внедрение инновационных обогревателей, работающих на основе инфракрасного излучения [10]. Эти меры направлены на оптимизацию энергопотребления, повышение надежности и удобства эксплуатации. Основные направления модернизации включают использование материалов с высокой теплоизоляционной способностью и рациональным распределением тепловых потоков, а также разработку новых конструктивных решений для снижения затрат на отопление. Анализ актуальных научных исследований подтверждает значимость и в ряде случаев необходимость внедрения инфракрасных систем отопления для поддержания теплового режима, особенно в крупногабаритных помещениях.

Значительная часть человеческой деятельности осуществляется в жилых и производственных помещениях, где формирование благоприятной и эстетически привлекательной среды имеет важное значение. Поддержание оптимального микроклимата является ключевым фактором, влияющим на здоровье и производительность человека. Традиционные системы отопления на многих предприятиях России отличаются высокой энергоемкостью и не всегда обеспечивают требуемые температурные параметры в рабочих зонах [10]. Это вызывает необходимость обеспечения комфортного температурного режима при снижении энергопотребления.

Системы инфракрасного отопления, благодаря разнообразию конструкций и принципов работы, обеспечивают точное регулирование температурного режима в рабочей зоне, что повышает комфорт и энергоэффективность. Однако при проектировании систем теплоснабжения для крупных объектов возникают проблемы, связанные с недостатками существующих методологий, которые не учитывают особенности динамики температуры в условиях инфракрасного обогрева. Для решения этой проблемы предлагается разработать упрощенную физическую модель, описывающую тепловое равновесие в помещении при использовании пленочного инфракрасного обогревателя. Модель предназначена для анализа распределения температуры в помещении, определения траекторий теплопередачи и их взаимодействия с источниками тепла.

Инфракрасные обогреватели, как источники теплового излучения, генерируют электромагнитное излучение в определенном спектральном диапазоне. Это излучение передается в окружающую среду, где его поглощают поверхности ограждающих конструкций помещений и человеческое тело. В результате поглощения происходит преобразование электромагнитной энергии в тепловую посредством теплообмена.

Система уравнений, основанная на физических принципах теплообмена и упрощенной физической модели, позволяет оптимизировать температурный режим для эффективной работы инфракрасного обогревателя в конкретной зоне помещения с людьми. Теория графов используется для анализа тепловых условий в рабочей зоне помещения. Инфракрасные излучатели решают проблемы тепла и сухости, создавая зоны нагрева с высокой удельной мощностью и избирательным использованием энергии с помощью модульных систем. Возможность регулировать тепловую мощность с помощью цифровых регуляторов температуры и переключателей обеспечивает эффективное использование энергии, снижает эксплуатационные расходы и защищает окружающую среду.

Термин «инфракрасное излучение» относится к производству и передаче (воспроизведению) электромагнитного излучения. волны в спектральной области выше видимого света, которая простирается от 0,7 м до примерно 80 м. Генерация и передача электромагнитных волн связана с передачей энергии в определенном, направленном направлении. Передача энергии, по-видимому, возможна в вакууме, поскольку для этого не требуется среда передачи. Инфракрасные излучатели с длинными, средними и короткими волнами были классифицированы в зависимости от максимальной длины волны испускаемого спектрального излучения. Максимальное значение составляет менее 1,5 м для коротковолновых инфракрасных излучателей. Длинноволновые инфракрасные излучатели имеют максимальную длину волны более 3 м. Инфракрасные излучатели средней длины волны расположены между ними. Спектральное распределение энергии различных примеров излучателей в таких категориях показано на рисунке 1. Чем короче длина волны света, тем выше температура излучателей.

В рамках исследования рассматриваются процессы теплообмена в помещении, включающие теплоемкость воздуха, человеческого тела и ограждающих конструкций. Основным источником тепловой энергии для обогрева рабочей зоны является пленочный инфракрасный обогреватель. Дополнительно учитываются два других источника тепла: приточный воздух и наружный воздух с тепловой мощностью.

Механизмы теплопередачи между источниками тепловой энергии и помещением включают конвективный теплообмен, радиационный теплообмен и теплопроводность. Эти процессы могут быть математически описаны и визуализированы с помощью графовых моделей, где они представляются в виде рёбер, соединяющих узлы, соответствующие источникам и помещением.

Тепловой режим помещения регулируется посредством радиационно-конвективного теплообмена. Температурный режим помещения определяется комплексом ключевых параметров, включая выходную тепловую мощность теплогенерирующих источников и площадь их поверхности. При разработке физической модели были учтены определенные упрощения и допущения. В частности:

- теплопередача от инфракрасного обогревателя к поверхностям пола, стен и человеческого тела осуществляется преимущественно за счет лучистого теплообмена;
- нагретые поверхности пола, стен и человеческого тела отдают тепло в окружающую среду посредством конвективного теплопереноса;
- инфракрасное излучение от обогревателя передается на поверхности помещения;
- температура поверхности человеческого тела остается однородной;
- конвективный теплообмен от инфракрасного обогревателя не влияет на тепловой режим помещения из-за использования низкотемпературного пленочного излучателя;
- поверхностные элементы характеризуются равномерным распределением температуры;
- тепловыделение от искусственного освещения минимально благодаря применению энергоэффективных источников света, таких как светодиодные лампы.

На основе принятых допущений и анализа теплового состояния помещения была получена система уравнений теплового баланса. Основное уравнение теплового баланса для теплоемкости воздуха можно записать следующим образом:

Для помещения уравнение теплового баланса в общем виде представляется как:

$$Q_{\text{чел}} + Q_{\text{огр}} + Q_{\text{возд}}^{\text{вх}} + Q_{\text{обогр}} = Q_{\text{изол}} + Q_{\text{возд}}^{\text{исх}} \quad (1)$$

$Q_{\text{чел}}$ — это количество тепла, выделяемого человеческим телом в помещении через конвекцию, выраженное в ваттах (Вт) и определяемое по соответствующей формуле:

$$Q_{\text{чел}} = \alpha_{\kappa} \cdot F_{\text{чел}} \cdot (t_{\text{чел}} - t_{\text{пом}}) \quad (2)$$

где α_{κ} — коэффициент конвективной теплопередачи, Вт/(м²*°C);

$F_{\text{чел}}$ — площадь поверхности человеческого тела, м²;

$t_{\text{чел}}$ — средняя температура поверхности человеческого тела, °C (с учетом теплового сопротивления одежды, $t_{\text{чел}} = 35^{\circ}\text{C}$).

$t_{\text{пом}}$ — расчетная температура воздуха в помещении, °C.

Прямое измерение площади поверхности тела человека представляет собой технически сложную задачу, требующую сложных расчетов на основе антропометрических параметров, таких как рост и масса тела. В связи с этим для оценки площади поверхности тела часто применяют эмпирические формулы. Одной из наиболее широко используемых и валидированных методик является формула Дюбуа, разработанная в начале XX века. Эта формула позволяет определить площадь поверхности тела (ППТ) с учетом антропометрических данных, таких как рост и масса.

$$F_{\text{ППТ}} = 0,007184 \cdot m_{\text{чел}}^{0,5} \cdot h_{\text{чел}}^{0,8} \quad (3)$$

где $m_{\text{чел}}$ - масса человека кг;

$h_{\text{чел}}$ - рост человека см.

При разработке расширенной модели теплового баланса с учетом теплоемкости стен, было получено следующее выражение:

$$\begin{aligned} C_0 \cdot \varepsilon_{\text{от}} \cdot F_{\text{от}} \cdot \varphi_{\text{от}} \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{от}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{огр}}}{100} \right)^4 \right] = \alpha \cdot F_{\text{огр}} \cdot (T_{\text{огр}} - T_{\text{вн}}) + \\ + C_0 \cdot \varepsilon_{\text{чел}} \cdot F_{\text{огр}} \cdot \varphi_{\text{чел}} \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{огр}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{от}}}{100} \right)^4 \right] + k_{\text{огр}} \cdot F_{\text{огр}} \cdot (T_{\text{огр}} - T_{\text{нар}}) \end{aligned} \quad (4)$$

где $\varepsilon_{\text{от}}$ - эффективный относительный коэффициент излучения между поверхностью нагревателя и соответствующей поверхностью помещения;

$\varphi_{\text{чел}}$ - коэффициент излучения от поверхности нагревателя к соответствующей поверхности помещения;

$T_{\text{огр}}$ - температура ограждающих поверхностей (стен, потолка, пола) К;

α - коэффициент конвективной теплопередачи ограждающих поверхностей Вт/(м²*К);

$\varepsilon_{\text{чел}}$ - относительный коэффициент излучения между поверхностью человеческого тела и соответствующей поверхностью помещения;

$F_{\text{огр}}$ - расчетная площадь ограждающих поверхностей м;

$k_{\text{огр}}$ - коэффициент теплопередачи соответствующей ограждающей поверхности, Вт/(м²*К);

$T_{\text{нар}}$ — это расчетная температура окружающего воздуха для холодного времени года К.

В исследовании были проанализированы балансовые уравнения для каждой тепловой ёмкости с учётом принятых предпосылок и упрощений. В результате были определены графические зависимости температуры воздуха в рабочей зоне помещения от температуры наружного воздуха и площади обогрева инфракрасного нагревателя (рис. 2). Диапазон изменения температуры поверхности нагревателя составил от 40 °C до 80 °C. Для расчёта тепловой ёмкости воздуха использовались математические модели в программной среде MATLAB.

Полученные графики дают точные данные об оптимальной площади поверхности инфракрасных обогревателей для поддержания нужной температуры. Они учитывают внешние условия, такие как температура и влажность воздуха, теплоизоляция помещения, количество и расположение окон и дверей, а также присутствие людей и других объектов, влияющих на эффективность теплообмена. Графики наглядно показывают, как изменения одного или нескольких факторов влияют на работу обогревателей, упрощая процесс оптимизации системы отопления.

Чтобы инфракрасное отопление было максимально эффективным, рекомендуется установить осевой вентилятор над обогревателем. Вентилятор направит конвекционные тепловые потоки в рабочую зону, что повысит температуру воздуха и уменьшит мощность обогревателя. В результате увеличится энергоэффективность системы инфракрасного отопления.

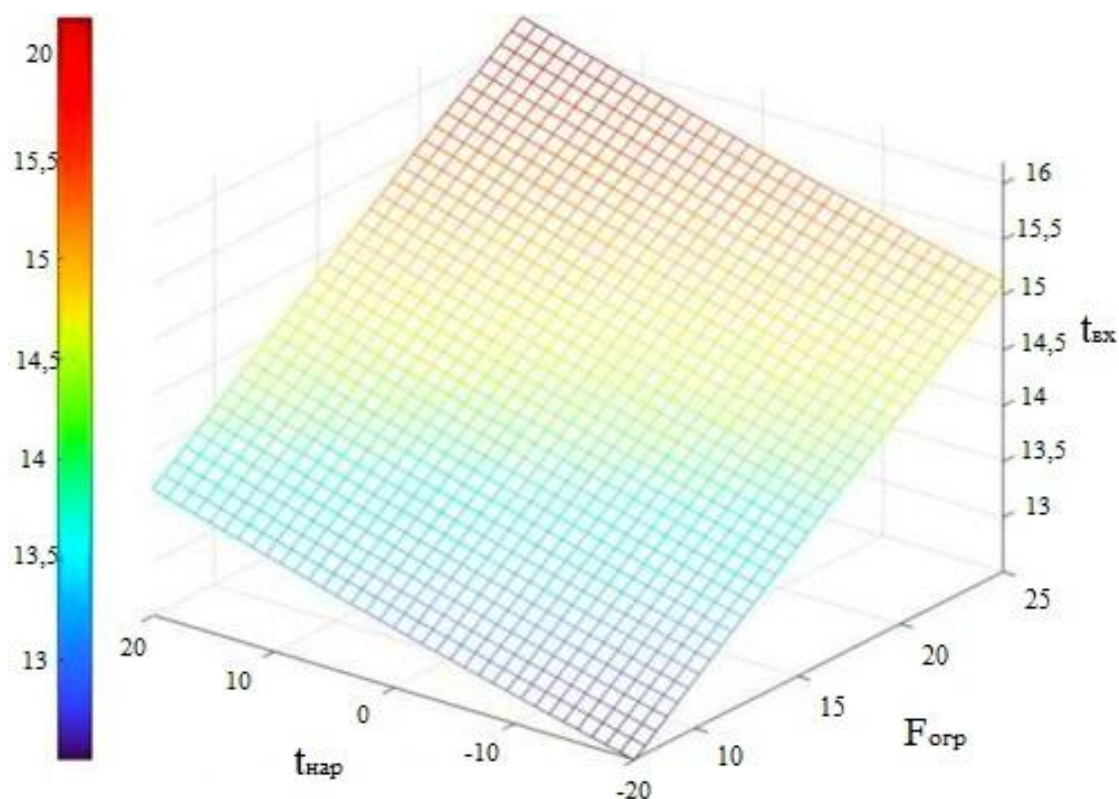


Рис. 2. Влияние температуры наружного воздуха $t_{нар}$, площади излучающей поверхности инфракрасного обогревателя F и его тепловой мощности на температуру воздуха $t_{вх}$ в рабочей зоне помещения при постоянной температуре поверхности обогревателя $t_{об} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ВЫВОДЫ

В рамках данного исследования разработана упрощенная физическая модель рабочей зоны производственного помещения, которая позволяет детально оценить тепловое взаимодействие между ключевыми элементами системы: воздухом, человеческим телом, ограждающими конструкциями и источниками тепла. В качестве источников тепла рассматриваются пленочный инфракрасный обогреватель, приточный воздух и наружный воздух.

На основе разработанной модели построен график, наглядно демонстрирующий процессы теплопередачи и взаимодействия между этими компонентами. График визуализирует инфракрасное излучение от пленочного обогревателя на внешние поверхности помещения (стены, пол, потолок) и на тела людей, а также показывает конвективный теплообмен между воздухом и этими поверхностями. Это позволяет более точно анализировать распределение тепловых потоков и эффективность системы инфракрасного отопления.

Для достижения этой цели сформулированы расширенные уравнения теплового баланса для воздуха, человеческого тела и внешних поверхностей. Эти уравнения являются сложными для аналитического решения, поэтому для расчетов использовались допущения и упрощения, а также программная среда MATLAB.

В стационарных условиях при температурах пленочного инфракрасного обогревателя в диапазоне от $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ были получены графические зависимости температуры воздуха в рабочей зоне от температуры наружного воздуха и площади обогрева. Эти данные позволяют определить оптимальную площадь поверхности нагревателей, необходимую для обеспечения теплового комфорта, в зависимости от климатических условий и параметров помещения.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение возможности существенного повышения эффективности проектирования и эксплуатации систем инфракрасного обогрева в помещениях, обеспечивая комфортные условия и снижая энергозатраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базанова, Е. В. Повышение эффективности отопления теплиц с помощью пленочного инфракрасного обогревателя / Е. В. Базанова, Н. А. Алексеев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Тезисы 80-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 18–22 апреля 2022 года. Том 1. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2022. – С. 480.
2. Савельев, А. А. Возможность применения инфракрасного отопления для помещений различного назначения / А. А. Савельев, О. В. Михеева // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения : Материалы XIII Национальной конференции с международным участием, Саратов, 20–21 апреля 2023 года / Под редакцией Б.В. Фисенко. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2023. – С. 68-72.
3. Барышников, А.А. Анализ технологии инфракрасного отопления / А.А. Барышников, Н.Ш. Мустафин // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. – 2016. – № 5(17). – URL: <https://regrazvitie.ru/analiz-tehnologiiinfrakrasnogo-otopleniya>.
4. Кузьмишкин, А. А. Энергосбережение в строительстве: инфракрасное отопление / А. А. Кузьмишкин, Е. А. Игнатьева, А. И. Забиров. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2014. – № 3 (62). – С. 314-315. – URL: <https://moluch.ru/archive/62/9665/> (дата обращения: 28.03.2025).
5. Повышение энергоэффективности инженерных систем отопления, вентиляции и теплоснабжения : Основы проектирования и расчета / О. В. Наумова, Б. П. Чесноков, А. И. Кирюшатов, Е. В. Спиридонова. – Саратов : ООО "Амирит", 2015. – 170 с.
6. Ширинян, А. С. Роль насосов в системах теплоснабжения / А. С. Ширинян, О. В. Михеева // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы X Национальной конференции с международным участием, Саратов, 23-24 апреля 2020 года. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2020. – С. 244-246.
7. Савельева, Н. С. Альтернативные системы отопления в энергоэффективном строительстве / Н. С. Савельева // Летняя научная конференция студентов и аспирантов ЛГТУ: Сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета, Липецк, 20–24 августа 2024 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2024. – С. 447-451.
8. Бухмиров, В.В. Экспериментальное исследование системы отопления инфракрасными излучателями / В.В. Бухмиров, Ю.С. Солнышкова, М.А. Савельева // Вестник ивановского государственного энергетического университета, 2011. – №3. – С. 12-16.
9. Сергеева, Д.В. Преимущества использования инфракрасного отопления / Д.В. Сергеева // Научному прогрессу - творчество молодых, 2021. – №2. – С. 152-154.
10. Барышников, А.А. Анализ технологии инфракрасного отопления / А.А. Барышников, Н.Ш. Мустафин // Региональное развитие, 2016. – № 5(17). – С. 251-254

INVESTIGATION OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM USING A FILM INFRARED HEATER

¹Zakharov A.S., ²Krymov R.S.

^{1, 2}V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Annotation. This article discusses the use of infrared heating systems in order to ensure optimal temperature conditions with minimal energy consumption. A physical model of a room equipped with infrared film heaters has been developed to analyze temperature conditions and heat balance. The model takes into account the processes of heat transfer, including heat release of the human body, convective heat transfer and infrared radiation. Heat balance equations for air, the human body and external surfaces have been obtained, which make it possible to estimate the heat distribution and energy efficiency of an infrared heating system, which will improve thermal comfort and reduce energy consumption in buildings.

Keywords: minimum energy consumption, infrared heating, thermal balance, innovative heating technologies, energy efficiency.