УДК 697.1

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

♦♦♦♦♦

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF COMBINED HEATING SYSTEMS

Шелехова Ирина Валентиновна
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет
slovir@yandex.ru

Верхозина Екатерина Юрьевна
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет
Verkhozina7272@mail.ru

Дик Алексей Андреевич
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет
dik_aa_85@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы обеспечения теплового комфорта в жилых помещениях. Анализируются недостатки традиционных конвективных систем отопления и систем инфракрасного (лучистого) обогрева при их раздельном применении. Представлены результаты экспериментального исследования комбинированной системы отопления, включающей электроконвекторы и низкотемпературные саморегулируемые нагревательные ленты. Выявлены закономерности распределения температурных полей и теплоощущения человека при динамическом изменении внутренних и внешних метеорологических факторов. Обоснована необходимость совместного использования конвективной и радиационной составляющих для поддержания стабильных параметров микроклимата и снижения энергопотребления.

Ключевые слова: микроклимат, лучистое отопление, инфракрасный обогрев, тепловой комфорт, низкотемпературный нагрев, терморегулирование, энергоэффективность.

Shelekhova Irina Valentinovna
Master's Student,
Irkutsk National Research Technical University
slovir@yandex.ru

Verkhozina Ekaterina Yuryevna
Master's Student,
Irkutsk National Research Technical University
Verkhozina7272@mail.ru

Dik Aleksey Andreevich
Master's Student,
Irkutsk National Research Technical University
dik_aa_85@mail.ru

Annotation. This article examines the issues of ensuring thermal comfort in residential spaces. The disadvantages of traditional convective heating systems and infrared (radiant) heating systems when used separately are analyzed. The results of an experimental study of a combined heating system incorporating electric convectors and low-temperature self-regulating heating tapes are presented. Patterns in the distribution of temperature fields and human thermal sensations are identified during dynamic adjustment of internal and external meteorological factors. The need for a combined use of convective and radiative environments to maintain stable microclimate parameters and reduce energy consumption is substantiated.

Keywords: microclimate, radiant heating, infrared heating, thermal comfort, low-temperature heating, thermal control, energy efficiency.

Формирование комфортной тепловой обстановки в помещении определяется комплексным воздействием двух основных факторов: температуры внутреннего воздуха и температуры внутренних поверхностей ограждающих конструкций (стен, потолка). Согласно современным представлениям гигиены и строительной теплофизики, именно результирующая температура помещения (средневзвешенная величина температуры воздуха и радиационной температуры окружающих поверхностей) является интегральным показателем комфортности [1].

Традиционные системы отопления, основанные на конвективном теплообмене, имеют ряд ограничений. Они создают неравномерное температурное поле, способствуют перемещению пыли и зачастую требуют поддержания повышенной температуры воздуха для компенсации низкой температуры стен (эффект «холодной радиации»). Применение лучистых (инфракрасных) систем отопления позволяет нагревать непосредственно поверхности и предметы, минуя промежуточный нагрев воздуха, что от-

крывает возможности для зонального обогрева и снижения средней температуры воздуха при сохранении комфорта. Однако, как показывают теоретические и практические исследования, в процессе эксплуатации происходит трансформация видов теплопередачи: инфракрасное излучение от нагревателя поглощается предметами, которые затем отдают тепло воздуху конвекцией. Этот переход из одного стационарного состояния в другое вносит неопределенность в систему автоматического регулирования, снижая эффективность управления мощностью [2].

Таким образом, актуальной задачей является поиск оптимального соотношения конвективной и радиационной составляющих в системе отопления и разработка методов управления, обеспечивающих стабильность микроклимата при внешних и внутренних возмущениях.

Целью экспериментального исследования являлась оценка эффективности совместного использования конвективных и низкотемпературных лучистых нагревателей для обеспечения теплового комфорта при пониженной температуре воздуха.

Исследования проводились в жилой комнате частного дома площадью 24 м². В качестве базового источника тепла использовались электроконвекторы с двухпозиционным терморегулированием. В качестве источника лучистого тепла применялись экспериментальные образцы саморегулируемых инфракрасных нагревательных лент (Патент на полезную модель № 219638) [3]. Технические характеристики нагревательных лент: ширина 120 мм, длина 3,0 м, удельная мощность подобрана из условия ограничения максимальной температуры поверхности (не выше 40 °С), суммарная мощность установленных элементов составила 1,0 кВт. Ленты монтировались на свободные участки стен с шагом 1 метр, что имитировало низкотемпературную стеновую панель.

В ходе эксперимента регистрировались следующие параметры:

1. Температура воздуха в помещении (среднее значение по высоте).
2. Интенсивность радиационного теплового потока с помощью датчиков открытого типа, установленных на теле человека.
3. Температура воздуха в непосредственной близости от человека с помощью экранированных (закрытых) датчиков.

Рассматривались три режима функционирования системы отопления:

1. Стационарный режим.
2. При изменении внешних условий.
3. При изменении внутренних условий (имитация проникновения холодных потоков воздуха (сквозняков)).

Для каждого из трех режимов эксперимент проводился в два этапа: сначала только с использованием конвекторов (базовый сценарий), затем с использованием комбинированной системы «конвекторы + нагревательная лента».

Результаты измерений параметров микроклимата при использовании только конвективного отопления показывает следующие закономерности:

1. В стационарном режиме работа терморегулятора (циклическое включение/отключение конвектора) приводит к колебаниям температуры нагревательного элемента. Эти колебания передаются в помещение, что негативно сказывается на стабильности микроклимата (высокая амплитуда колебаний результирующей температуры).

2. Субъективное ощущение теплового комфорта (теплоощущение человека) достигалось при температуре воздуха +24 °С.

3. При имитации изменения внешних условий наблюдался временной сдвиг в реакции системы. Даже при наличии терморегулятора, его работа не успевала компенсировать быстрое изменение теплопотерь, что приводило к дискомфорту.

4. При изменении внутренних условий (сквозняк) температура воздуха снижалась, однако регулятор обеспечивал выход на новый, относительно стабильный, но пониженный уровень температуры.

При работе комбинированной системы (конвекторы + низкотемпературные лучистые панели) были зафиксированы следующие результаты:

1. В стационарном режиме периоды включения терморегулятора стали более редкими и продолжительными. Благодаря наличию постоянной радиационной состав-

ляющей от нагретых стен, колебания температуры воздуха сглаживались, и параметры микроклимата оставались стабильными.

2. Ощущение теплового комфорта достигалось при более низкой температуре воздуха – +21 °С, что подтверждает теорию о компенсации пониженной температуры воздуха повышенной радиационной температурой.

3. При имитации похолодания (изменение внешних условий) снижение температуры воздуха до +19 °С не вызывало значительного ухудшения теплоощущения человека, так как лучистый поток от стен продолжал компенсировать теплопотери тела.

4. При внутренних возмущениях (сквозняк) колебания параметров микроклимата были сглажены и имели меньшую амплитуду по сравнению со сценарием А.

Полученные экспериментальные данные подтверждают синергетический эффект от совместного применения конвективных и низкотемпературных лучистых систем. Наблюдаемое снижение комфортной температуры воздуха на 3 °С (с 24 °С до 21 °С) позволяет говорить о потенциале энергосбережения до 10–15 % только за счет снижения температуры внутреннего воздуха, согласно градиенту теплопотерь через вентиляцию и ограждения.

Зафиксированный перепад температур в динамических режимах достигает значений более 3 °С, в классических системах с двухпозиционным регулированием такой перепад считается недопустимым. Однако, как показали замеры теплоощущения, благодаря радиационной составляющей, дискомфорт у человека отсутствовал. Это указывает на необходимость коррекции алгоритмов работы терморегуляторов для систем с высокой долей лучистого теплообмена, где инерционность нагретых поверхностей играет положительную роль. Комбинированная система отопления показала высокую устойчивость к внешним и внутренним возмущениям (изменение погодных условий, сквозняки). Благодаря тепловой инерции нагретых поверхностей, снижение температуры воздуха не приводит к пропорциональному ухудшению теплоощущения человека.

Перспективой дальнейших исследований является разработка адаптивных алгоритмов управления, учитывающих не только температуру воздуха, но и среднюю радиационную температуру помещения, а также создание методических рекомендаций по применению комбинированных систем отопления для различных типов зданий.

Литература

1. Шелехов И.Ю. Аддитивные инфракрасные системы обогрева / И.Ю. Шелехов, В.В. Пожидаев // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2020. – Т. 10. – № 1 (32). – С. 124–129. DOI 10.21285/2227-2917-2020-1-124-129. EDN RAKSYY
2. Гусейнова М.В. О Возможности использования среднеинтегрированной модели Фангера для контроля температурного комфорта в помещениях / М.В. Гусейнова, В.Х. Махмудова, С.А. Шатохина // В сборнике: Актуальные проблемы экологии и охраны труда. Сборник статей XI Международной научно-практической конференции. Посвящается 55-летию Юго-Западного государственного университета. – 2019. – С. 398–409.
3. Патент на полезную модель № 219638 U1 Российская Федерация, МПК H05B 3/16, H05B 3/34, H05B 3/38. Гибкий нагревательный элемент с неравномерной удельной мощностью: № 2022133257: заявл. 19.12.2022: опубл. 31.07.2023 / И.В. Шелехова, И.Ю. Шелехов, А.И. Шелехова; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Промышленные Технологические Инновации». EDN JINDIL

References

1. Shelekhov, I. Yu. Additive infrared heating systems / I.Yu. Shelekhov, V.V. Pozhidaev // News of universities. Investments. Construction. Real estate. – 2020. – Vol. 10. – № 1(32). – P. 124–129. DOI 10.21285/2227-2917-2020-1-124-129 EDN RAKSYY
2. Guseynova M.V. On the possibilities of using the mean-integrated Fanger model for monitoring indoor temperature comfort. In the collection: Actual problems of ecology and labor protection / M.V. Guseynova, V.Kh. Makhmudova, S.A. Shatokhina // Collection of articles from the XI International scientific and practical conference. Dedicated to the 55th anniversary of Southwestern State University. – 2019. – P. 398–409.
3. Utility Model Patent No. 219638 U1 Russian Federation, IPC H05B 3/16, H05B 3/34, H05B 3/38. Flexible Heating Element with Uneven Specific Power: № 2022133257: declared 19.12.2022: published 31.07.2023 / I.V. Shelekhova, I.Yu. Shelekhov, A.I. Shelekhova; applicant Industrial Technological Innovations Limited Liability Company. EDN JINDIL