ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОТЫ ПОДВЕСА ГАЗОВЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОДПОТОЛОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА

Н.И. Куриленко, *доцент*
Л.Ю. Михайлова, *доцент*
В.Г. Рех, *аспирант*
Тюменский индустриальный университет
(Россия, г. Тюмень)

DOI:10.24412/2500-1000-2025-10-2-75-80

Аннотация. *Представлены результаты экспериментального исследования влияния высоты подвеса светлых газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) на тепловой режим подпотолочного пространства промышленных зданий. Эксперименты проводились с использованием излучателей мощностью 20 и 40 кВт, установленных на высотах 4 и 6 м в реальном производственном помещении. Установлено, что повышение высоты подвеса с 4 до 6 м приводит к значительному росту температуры у перекрытия: на 5,7 °С (21%) для ГИИ-20 и на 12,6 °С (44%) для ГИИ-40. Выявлена прямая зависимость температуры воздуха в верхней зоне от мощности излучателя. Полученные данные подтверждают практические наблюдения перегрева строительных конструкций. Сделан вывод о необходимости учета теплового режима подпотолочной зоны при проектировании систем лучистого отопления для обеспечения долговечности ограждающих конструкций. Предложена практическая рекомендация по обязательному соблюдению рекомендуемых расстояний от излучателей до перекрытия для предотвращения перегрева и сохранения целостности строительных конструкций.*

Ключевые слова: *газовые инфракрасные излучатели, системы лучистого отопления, высота подвеса, тепловой режим, подпотолочное пространство, перегрев перекрытия, промышленные здания, строительные конструкции, тепловлажностный режим.*

Организация эффективного теплоснабжения производственных помещений с высокими потолками и значительными объемами традиционно представляет собой сложную инженерную задачу. Классические решения на основе систем центрального отопления с радиаторными отопительными приборами или воздушного отопления демонстрируют слабую эффективность в таких условиях, что связано с существенными теплопотерями через ограждающие конструкции и неравномерным распределением температур по высоте помещения. В условиях постоянного роста тарифов на энергоносители и ужесточения требований к энергоэффективности (тепловой защите) зданий, особую актуальность приобретают альтернативные методы отопления, среди которых выделяются системы лучистого отопления. Данные системы реализуют принципиально иной подход к теплоснабжению, основанный на прямом преобразовании энергии сгорания газа в инфракрасное излучение, которое нагревает не воздух, а непосредственно поверхности пола, оборудования и людей в рабочей зоне. Этот механизм теплопередачи позволяет существенно снизить энергопотребление и создать более комфортные условия при меньших капитальных и эксплуатационных затратах на систему отопления.

Современные системы лучистого отопления на базе светлых газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) демонстрируют высокую энергетическую эффективность при обогреве промышленных зданий с большими объемами, позволяя сократить затраты на энергоресурсы в сравнении с традиционными системами отопления в несколько раз [1]. Конструктивной особенностью данных установок является использование керамических излучающих панелей, нагреваемых до температур 800-1000°С в результате беспламенного сгорания газовоздушной смеси, что обеспечивает генерацию инфракрасного излучения в средневолновом диапазоне. Ключевым параметром при проектировании таких систем явля-

ется высота подвеса излучателей, минимальная высота подвеса излучателей нормируется с целью предохранения персонала от чрезмерного инфракрасного облучения [2, 3, 4]. В руководствах по эксплуатации ГИИ указана минимальная высота подвеса, которая ориентирована на предельно допустимую интенсивность облучения 140 Вт/м² и является основной характеристикой для защиты людей, а расстояние от излучателя до перекрытия не должно быть менее 0,8 м., для исключения локального перегрева строительных конструкций.

Однако, как показывает практика эксплуатации, ориентировка на рекомендации [3, 4] приводит к побочным негативным эффектам (рис. 1), главным из которых является значительный перегрев верхней зоны над излучателем. Как отмечает Р.Р. Давлятчин [5], это приводит к нарушению тепло-влажностного режима кровельных конструкций, образованию конденсата и их последующему разрушению. Таким образом, актуальной задачей является исследование теплового режима не только рабочей зоны, но и пространства между излучателем и перекрытием.

Рис. 1. Визуализация перегрева поверхности перекрытия

Физическая сущность наблюдаемого явления перегрева подпотолочного пространства обусловлена особенностями распространения и поглощения инфракрасного излучения в ограниченном объеме. Согласно фундаментальным законам теплообмена, плотность лучистого потока на поверхности перекрытия определяется не только расстоянием до источника излучения, но и угловыми характеристиками излучающей системы, спектральным составом излучения и оптическими свойствами ограждающих конструкций. При уменьшении расстояния между излучателем и перекрытием происходит нелинейный рост плотности падающего теплового потока, что приводит к значительному увеличению тепловосприятия строительных конструкций. Этот эффект особенно выражен при использовании мощных излучателей, где тепловая нагрузка на конструкции может достигать значений, превышающих допустимые пределы для кровельных материалов.

Значительный вклад в тепловую нагрузку на перекрытия вносят вторичные процессы. Нагретый корпус излучателя до температуры 150-200°С создает устойчивые конвективные потоки. Совместное воздействие лучистого и конвективного теплообмена создает сложную пространственную структуру температурных полей, характеризующейся значительным градиентом температуры по высоте помещения, и может приводить к повышению температуры конструкций по сравнению с расчет-

ными значениями, учитывающими только прямое излучение.

Актуальность проблемы дополнительно детерминирована экономическими аспектами эксплуатации промышленных объектов. С одной стороны, системы лучистого отопления демонстрируют значительный потенциал экономии энергоресурсов с достижением КПД 95% [3], с другой стороны – повреждение конструкции кровли вследствие термического воздействия требует существенных капиталовложений на ее ремонт и восстановление. Особую значимость проблема приобретает при использовании современных легких ограждающих конструкций, где даже незначительные изменения температурно-влажностного режима могут индуцировать серьезные последствия.

Проведенный анализ научной литературы свидетельствует, что при достаточной изученности вопросов энергоэффективности лучистых систем, проблема теплового воздействия на строительные конструкции требует дополнительных исследований. В частности, остаются недостаточно изученными аспекты влияния высоты подвеса излучателей при различной мощности на температурный режим подпотолочного пространства, не определены оптимальные схемы монтажа излучателей для минимизации теплового воздействия на перекрытие.

Значимость таких исследований усиливается в связи с широким распространением систем лучистого отопления и постоянным ростом мощности до 56 кВт на один излучатель.

Актуальность работы определяется необходимостью разработки научно обоснованных подходов к проектированию систем лучистого отопления, обеспечивающих баланс между энергетической эффективностью и долговечностью ограждающих конструкций промышленных зданий. Полученные результаты будут способствовать совершенствованию нормативной базы и созданию методик расчета, учитывающих реальные условия эксплуатации систем инфракрасного отопления. Таким образом, актуальной научно-практической задачей является исследование теплового режима не только рабочей зоны, но и пространства между излучателем и перекрытием. Комплексное изучение данной проблемы позволит разработать научно обоснованные рекомендации по проектированию систем лучистого отопления, обеспечивающие их эффективную и безопасную эксплуатацию, что будет способствовать развитию современных энергосберегающих технологий в области теплоснабжения промышленных предприятий.

Решение поставленных задач требует комплексного подхода, включающего как проведение натурных экспериментов с применением современного измерительного оборудования, так и разработку расчетных моделей, позволяющих прогнозировать тепловое воздействие на строительные конструкции при различных схемах размещения излучателей. Особое внимание в исследовании уделяется анализу взаимосвязи между мощностью оборудования, высотой его подвеса и температурным режимом подпотолочного пространства, что представляет значительный практический интерес для проектировщиков и эксплуатантов промышленных объектов.

Цель работы: экспериментальное исследование влияния высоты подвеса газового инфракрасного излучателя на температурный режим подпотолочного пространства.

Экспериментальное исследование было проведено в реальных условиях эксплуатации системы лучистого отопления в действующем производственном цеху. Выбор натурного объекта, был обусловлен необходимостью учесть все факторы, характерные для работы систем лучистого отопления: реальные теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, наличие технологического оборудования, движение воздушных масс от систем вентиляции и естественную инфильтрацию.

Общая площадь цеха составила 3600 м². Высота от уровня чистого пола до перекрытия составляла 10 метров, формируя значительный объем, требующий эффективного решения по отоплению.

Помещение оснащено вентиляцией, расчетная производительность которой была определена исходя из требований санитарных норм по кратности воздухообмена для данного типа производств, а также с учетом объема воздуха, необходимого для полного сжигания газа установленными излучателями.

В качестве лучистых источников тепла применялись серийные светлые газовые ин-

фракрасные излучатели известного производителя «Schwank» двух номинальных тепловых мощностей: 20 кВт (модель ГИИ-20) и 40 кВт (модель ГИИ-40). Данные приборы используют в своей работе принцип беспламенного сжигания газовоздушной смеси на поверхности перфорированных керамических плит, разогревая их до температуры 800-1000 °С.

Для измерения и непрерывного контроля температуры воздуха в зонах интереса использовался специализированный многоканальный аналогово-цифровой преобразователь ИТ-2. Данный прибор предназначен для высокоточного многоканального мониторинга температурных показателей (°С) с использованием подключаемых термопар и обладает возможностью одновременного подключения до 16 измерительных каналов. Его ключевым преимуществом является возможность организации автоматизированного сбора данных с последующей передачей на персональный компьютер для визуализации и обработки в табличном формате, что исключает ошибки ручного считывания и обеспечивает высокую частоту дискретизации данных.

В стандартную комплектацию преобразователя ИТ-2 входят базовый вычислительный блок и компенсационные клеммные коробки УК-4 (использовалась одна коробка, обеспечивающая 16 каналов). Связь между базовым блоком и персональным компьютером осуществлялась через стандартный интерфейс RS-232. Каждая клеммная коробка УК-4 оснащена встроенным датчиком температуры для контроля, так называемых «холодных спаев» (концов термопар, подключаемых к прибору), что является обязательным условием для компенсации термо-ЭДС и обеспечения заявленной точности измерений.

Базовый блок ИТ-2 выполняет циклическое сканирование всех активных измерительных каналов. В каждом цикле прибор фиксирует значение термо-ЭДС (напряжения) по каждому каналу, одновременно регистрируя температурные показания от датчиков температуры в клеммной коробке УК-4. Полученные данные передаются на ПК, где специализированное программное обеспечение производит математическую обработку, преобразуя значения напряжения в температурные показания с учетом поправок, а также вычисляя, при необходимости, производные величины, такие как плотность теплового потока (Вт/м²).

Измерения выполняются циклически, за один цикл устройство сканирует все активные каналы.

Доступны два основных режима измерений – непрерывный мониторинг с автоповтором измерительных циклов и режим с заданным фиксированным количеством циклов (от 1 до 1000).

Программируемая пауза между циклами сканирования могла быть установлена в диапазоне от 1 секунды до 60 минут.

Программное обеспечение имеет функцию сохранения всех данных в текстовом файле, который полностью совместим с Microsoft Excel и другими программами. Кроме того, предусмотрена функция печати графических и табличных отчетов, а также процедура программной калибровки прибора для поддержания метрологических характеристик.

Каждый тип излучателя (ГИИ-20 и ГИИ-40) последовательно устанавливался на двух фиксированных высотах от уровня пола: 4 и 6 метров. Минимальное расстояние от корпуса излучателя до внутренней поверхности перекрытия (кровли) составило 6 и 4 метра, соответственно.

Перед началом каждого измерения излучатель запускался и работал в штатном режиме, до выхода излучателя в стационарный (установившийся) тепловой режим, когда мощности тепловыделения и теплопотерь уравновешиваются, а температурные поля стабилизируются.

После стабилизации теплового режима производились замеры температуры воздуха. Основной точкой контроля была выбрана зона в непосредственной близости от перекрытия – а именно, на фиксированном расстоянии 1 метр вниз от внутренней поверхности кровли по вертикальной проекции оси излучателя.

Данная детализированная методика обеспечила высокую достоверность, воспроизводимость и точность полученных экспериментальных данных.

Результаты экспериментальных данных представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения температуры воздуха у перекрытия

Тип излучателя	Высота подвеса излучателя (м)	Среднее значение температуры у перекрытия (℃)
ГИИ-20	4	26,9
ГИИ-20	6	32,6
ГИИ-40	4	28,6
ГИИ-40	6	41,2

Анализ полученных данных позволяет выявить, что для обоих типов излучателей наблюдается значительный рост температуры у перекрытия при увеличении высоты подвеса с 4 до 6 метров. Для ГИИ-20 температура возросла на 5,7 °С, а для ГИИ-40 – на 12,6 °С.

Кроме того, мощность излучателя оказывает существенное влияние на значения температуры воздуха. При одинаковой высоте подвеса 6 метров температура для ГИИ-40 на 8,6 °С выше, чем для ГИИ-20. Данная зависимость является ожидаемой, но ее количественная оценка представляет практический интерес для прогнозирования тепловых режимов.

Представленные в таблице 1 данные дают наглядное объяснение наблюдаемому на практике визуальному эффекту перегрева (рис. 1). Причиной данного явления служит сокращение расстояния от излучателя до перекрытия при увеличении высоты его подвеса. В ходе эксперимента подъем излучателя с 4 до 6 метров привел к уменьшению дистанции до кровли, что в свою очередь вызвало интенсификацию теплового воздействия на подпотолочное пространство и резкий рост температуры воздуха в данной зоне.

Выводы

Экспериментально установлено, что увеличение высоты подвеса газовых инфракрасных излучателей с 4 до 6 метров приводит к значительному росту температуры воздуха в подпотолочном пространстве. Для излучателя мощностью 20 кВт рост составил 21%, а для излучателя 40 кВт – 44%.

Выявлена прямая зависимость абсолютного значения температуры у перекрытия от мощности используемого излучателя. При высоте подвеса 6 метров температура для излучателя 40 кВт на 26% выше, чем для излучателя 20 кВт.

Для обеспечения долговечности ограждающих конструкций промышленных зданий при проектировании систем лучистого отопления необходим комплексный подход, включающий обязательную оценку теплового режима подпотолочного пространства с учетом высоты подвеса и мощности всех устанавливаемых излучателей.

На основании проведенных исследований сформулирована практическая рекомендация: при монтаже светлых газовых инфракрасных излучателей не допускается произвольная установка на существующие фермы или перекрытия. Следует предусматривать устройства специальных крепежных систем, что позволит предотвратить перегрев строительных конструкций и обеспечить их долговечность.

Библиографический список

1. СТО НП «АВОК» 4.1.5 – 2006 Системы отопления и обогрева с газовыми инфракрасными излучателями. – М.: НП «АВОК», 2006. – 10 с.

2. СП 60.13330.2020 Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 (с Поправкой, с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5). – М.: Минстрой России, 2020. – 103 с.

3. Руководство по эксплуатации 2100 РЭ / АО «Сибшванк». – 2024. – 28 с.

4. Руководство по эксплуатации ГИИ-30 000 РЭ / АО «Сибшванк». – 2024. – 28 с.

5. Давлятчин Р.Р. Влияние лучистой системы отопления на теплоизолирующие свойства покрытий производственных зданий и сооружений: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Давлятчин Рустам Русланович. – Тюмень, 2009. – 120 с.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF THE SUSPENSION HEIGHT OF GAS INFRARED RADIATORS ON THE TEMPERATURE REGIME OF THE BASEMENT SPACE

N.I. Kurylenko, *Associate Professor*
L.Yu. Mikhailova, *Associate Professor*
V.G. Rekh, *Postgraduate Student*
Tyumen Industrial University
(Russia, Tyumen)

Abstract. *The results of an experimental study of the effect of the suspension height of light gas infrared radiators (GII) on the thermal regime of the underfloor space of industrial buildings are presented. The experiments were carried out using 20 and 40 kW radiators installed at heights of 4 and 6 m in a real production facility. It was found that increasing the height of the suspension from 4 to 6 m leads to a significant increase in the temperature at the overlap: by 5.7 °C (21%) for GII-20 and by 12.6 °C (44%) for GII-40. A direct dependence of the air temperature in the upper zone on the emitter power has been revealed. The data obtained confirm the practical observations of overheating of building structures. It is concluded that it is necessary to take into account the thermal regime of the basement zone when designing radiant heating systems to ensure the durability of enclosing structures. A practical recommendation is proposed for mandatory observance of the recommended distances from the radiators to the ceiling to prevent overheating and preserve the integrity of building structures.*

Keywords: *gas infrared radiators, radiant heating systems, suspension height, thermal regime, underfloor heating, floor overheating, industrial buildings, building structures, heat and humidity regime.*