

Болотских Н.Н.

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры***АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СИСТЕМ ИНФРАКРАСНОГО ОТОПЛЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЬНЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ**

Введение. Для отопления помещений различного назначения в настоящее время широко используются децентрализованные энергоэффективные инфракрасные системы на базе электрических панельных нагревателей. Выпуском таких нагревателей занимаются ряд отечественных и зарубежных компаний, в частности: «БИЛЮКС Украина» [1], «FRICO» [2] и «ENERGOTECH» [3] (Швеция), «ENSA» «Klöpffer-Therm» [4] (Германия), «ЭКО ЛАЙН» [5] (Россия). Ими выпускаются три типа панельных электрических нагревателей: длинноволновые с температурой нагревательного элемента $t < 300^{\circ}\text{C}$ и длиной волны электромагнитного излучения $\lambda = 50 \div 2000$ мкм, средневолновые с $t = 300 \div 600^{\circ}\text{C}$ и $\lambda = 2,5 \div 50$ мкм и коротковолновые с $t > 600^{\circ}\text{C}$ и $\lambda = 0,74 \div 2,5$ мкм.

Длинноволновые нагреватели компаниями рекомендуются для использования в основных системах отопления помещений, в которых длительное время находятся люди, а средневолновые для отопления на рабочих местах, в складских помещениях или гаражах, где люди находятся непродолжительное время (не более 8-ми часов) [6]. И, наконец, коротковолновые нагреватели рекомендуются для зонального обогрева в складских помещениях, размораживания обледеневших ступенек, обогрева различных трубопроводов и резервуаров в промышленности и др. При этом в зоне обогрева человек может находиться кратковременно.

При проектировании систем инфракрасного отопления помещений с помощью электрических панельных нагревателей используются различные методики расчета, разработанные отдельными учеными, коллективами компаний-изготовителей таких приборов либо научно-исследовательских и учебных институтов.

Настоящая статья посвящается анализу наиболее широко используемых в отечественной практике методов расчета систем инфракрасного отопления помещений с применением электрических панельных нагревателей.

Целью настоящего исследования является дальнейшее совершенствование существующих методов расчета систем инфракрасного отопления с помощью электрических панельных нагревателей для сокращения расходов электроэнергии и создания оптимального микроклимата в рабочих зонах помещений.

Основное содержание. Исследованиями лучистого (инфракрасного) отопления в Украине и за рубежом занимаются давно. Закономерности лучистого теплообмена наиболее полно изучены В.Н. Богословским [7]. Им получены основные зависимости для расчета распределения лучистого тепла по внутренним поверхностям ограждающих конструкций. К сожалению, использование этих формул для практических расчетов систем инфракрасного электрического отопления весьма трудоемко даже с применением компьютерных технологий.

Методика расчета лучистого отопления, описанная Л.Д. Богуславским в справочном пособии [8], содержит различные вспомогательные таблицы и графики, предназначенные для упрощения расчетов. Но несмотря на это предложенная методика также весьма сложна. Она разработана только для определенных типов нагревательных панелей, параметров теплоносителя и т.п. В связи с этим применение этой методики для расчетов систем инфракрасного электрического отопления чаще всего не представляется возможным.

Для расчета систем инфракрасного отопления на базе электрических панель-

ных нагревателей в последние годы компанией «БИЛЮКС Украина» и Уральским государственным техническим университетом – УПИ были предложены соответствующие методики. Методикой, разработанной компанией «БИЛЮКС Украина» [1, 6], предусматривается выполнение расчетов в следующей последовательности. Вначале производится расчет необходимой мощности оборудования. При этом принимается условие, что суммарная мощность обогревательного оборудования в помещении должна быть не меньше величины чистых тепловых потерь.

Общие теплотери слагаются из потерь путем теплопроводности через стены, полы, окна, двери и крышу и вентиляционных потерь. Потери путем теплопроводности определяются по выражению

$$P_T = F \cdot k \cdot (t_B - t_{нв}), \quad (1)$$

где F – площадь ограждающей поверхности, m^2 ; k – коэффициент теплопроводности, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$; t_B – температура воздуха в помещении, $^\circ C$; $t_{нв}$ – минимальная расчетная наружная температура воздуха в данной местности, $^\circ C$.

Вентиляционные потери тепла определяются по формуле

$$P_V = Q \cdot (1 - \alpha) \cdot (t_B - t_{нв}) \cdot 0,33, \quad (2)$$

где $Q = n \cdot V_3$ – объем вентилируемого воздуха, $m^3/ч$; n – число оборотов воздуха в час; V_3 – объем здания (помещения), m^3 ; α – коэффициент эффективности утилизации тепла ($0 \div 1$).

Общие тепловые потери рассчитываются по формуле

$$P_{общ.} = P_T + P_V. \quad (3)$$

При наличии в помещении внутреннего источника тепловыделения величина чистых тепловых потерь определяется по выражению

$$P = P_{общ.} - Q_{внутр.}, \quad (4)$$

где $Q_{внутр.}$ – мощность внутреннего источника тепловыделения.

Полученное значение величины чистых тепловых потерь и принимается в качестве тепловой нагрузки или, иначе говоря, в качестве суммарной мощности нагревательного оборудования в помещении.

В случае отсутствия подробных ха-

рактеристик помещения потребную тепловую нагрузку можно определить, зная только два параметра – объем помещения и требуемую температуру в нем, по специальным диаграммам (рис. 1), построенным компанией «БИЛЮКС Украина». При построении этих диаграмм расход воздуха принят равным одному его обороту в помещении в час. Кроме того, принято, что помещение имеет четыре внешние стены и над потолком имеется крыша. Построены два варианта диаграммы: при средних значениях коэффициента теплопередачи равных 0,4 (рис. 1, а) и 1,0 (рис. 1, б).

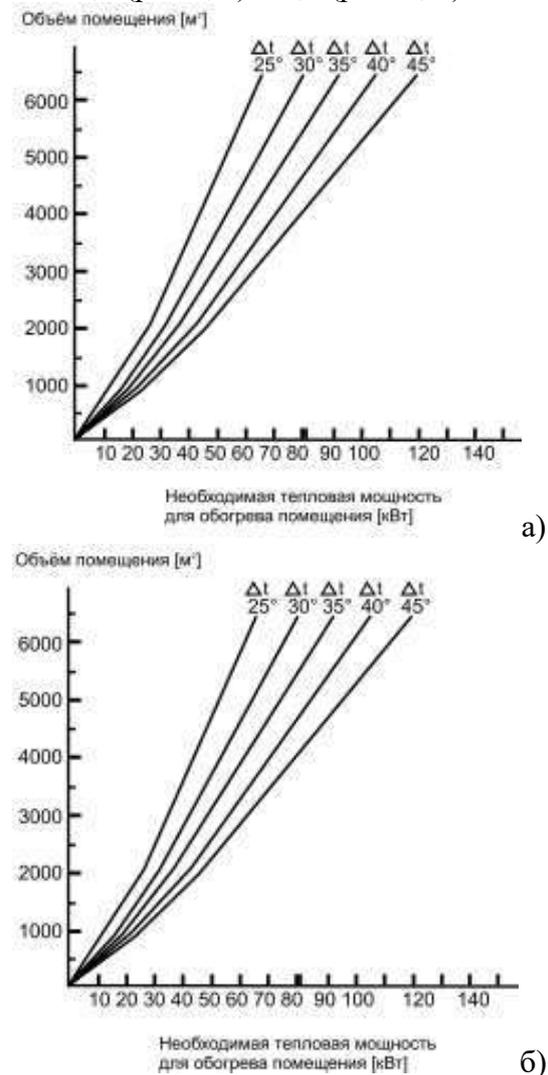


Рис. 1. Диаграммы потребной тепловой мощности для отопления различных помещений при средних значениях коэффициента теплопередачи равных: а) 0,4 и б) 1,0.

На этих диаграммах каждая кривая построена для фиксированных значений разницы (Δt) между температурой воздуха в отапливаемом помещении и самой низкой температурой наружного воздуха.

После определения потребной суммарной мощности нагревательного оборудования приступают к решению вопросов, связанных с выбором мощности и количества нагревательных приборов и их оптимальным размещением в помещении. Первоначальный выбор варианта размещения электронагревателей обычно осуществляется с учетом возможных максимальных площадей обогрева, указываемых изготовителем для каждой модели нагревательного прибора. Кроме того, при разработке схемы размещения инфракрасных длинноволновых электрических нагревательных панелей в помещении компания, для обеспечения более равномерного распределения температуры и интенсивности облучения по всей площади рабочей зоны отапливаемого помещения, рекомендует соблюдать следующие условия: панели необходимо располагать параллельно длинным наружным стенам; расстояние от наружной стены до ближайшей к ней панели должно составлять $\leq \frac{1}{4}$ высоты ее подвеса; расстояние между центральными осями по ширине панели должно примерно соответствовать расстоянию от пола до панели (высота подвеса панели); панели следует располагать таким образом, чтобы вдоль наружных стен оказались панели большей мощности, а в центре помещения меньшей мощности (компенсация по наружным ограждениям); для помещений с высотой потолка выше четырех метров, по возможности, рекомендуется использовать 2-х и 3-х панельные обогреватели большей мощности. После анализа нескольких возможных вариантов размещения нагревателей в отапливаемом помещении выбирают для практической реализации менее энергозатратный, наиболее экономичный и удобный в эксплуатации вариант отопления.

Описанная методика расчета проста и доступна. Однако, несмотря на это приходится констатировать и то, что в ней ряд вопросов, связанных с рациональным размещением нагревателей в отапливаемом помещении, решается на основании полученных опытных данных, которые не учитывают все многообразие возможных вариантов. Сформулированные компанией

рекомендации по размещению потолочных нагревателей в помещениях являются приближенными. Полученные с их помощью результаты далеки от оптимальных. При этом достигнуть максимальной равномерности распределения тепла в рабочих зонах отапливаемых помещений весьма сложно. Кроме того, эта методика не учитывает требования, сформулированные в ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [11], в части соблюдения норм допустимых значений интенсивности теплового облучения людей, находящихся в помещениях, отапливаемых инфракрасным способом.

Компанией декларируется [6], что инфракрасное отопление «...на сегодняшний день признано во всем мире как самое передовое и абсолютно безвредное для здоровья». Это утверждение в принципе справедливо. Однако, оно справедливо только для длинноволновых электрических панельных нагревателей при строгом соблюдении в период их эксплуатации установленных норм допустимой интенсивности облучения в рабочей зоне отапливаемого помещения. Таким образом, описанную методику расчета можно использовать только в случаях применения для целей отопления длинноволновых электрических панельных нагревателей при условии соблюдения норм ДСН 3.3.6.042-99. Что касается расчетов и рекомендаций, касающихся средне- и коротковолновых нагревателей, то они подлежат дальнейшим исследованиям и уточнениям, а сама методика нуждается в совершенствовании и доработке.

Уральским государственным техническим университетом – УПИ под руководством Р.Н. Шумилова разработана методика расчета лучистого отопления [9,10], которая включает в себя определение тепловой нагрузки, выбор типа, конструкции и количества нагревателей. Кроме того, этой методикой предусматривается решение вопросов, связанных с обеспечением равномерности обогрева помещения и допустимой интенсивности облучения (поверхностной плотности лучистого тепло-

вого потока). Для оценки параметров системы отопления производится подробный расчет распределения лучистой теплоты по внутренним поверхностям помещения, а также определяется уровень облученности находящихся в них людей.

В общем случае количество теплоты, передаваемой излучением от нагретой поверхности панели 1 на поверхность головы человека 2, имеющую более низкую температуру, определяется по формуле

$$Q_{п-ч} = c_0 \cdot \xi_{п-ч} \cdot H_{п-ч} \cdot \left[\left(\frac{T_{п}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ч}}{100} \right)^4 \right], \quad (5)$$

где $c_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела; $\xi_{п-ч}$ – приведенная степень черноты участвующих в теплообмене поверхностей 1 и 2; $H_{п-ч}$ – взаимная площадь излучения поверхностей 1 и 2, м^2 ; $T_{п}$ – средняя температура излучающей поверхности панели, К; $T_{ч}$ – температура головы человека, К.

Приведенная степень черноты участвующих в теплообмене поверхностей при выполнении практических расчетов с достаточной степенью точности может быть принята $\xi_{п-ч} = 1$.

При горизонтальном (рис. 2, а) или вертикальном (рис. 2, б) расположении излучающих панелей можно полагать, что нагреваемая поверхность головы человека параллельна излучающей поверхности и $\alpha=0$.

Приняв форму головы человека шарообразной с площадью поперечного сечения $F_2 = F_{ч} = 0,03 \text{ м}^2$, температуру поверхности головы равной $T_{ч}=310\text{К}$ и $H_{1-2}=H_{п-ч}$, с использованием приемов стереометрии после некоторых преобразований формулы (5) получено выражение для определения интенсивности облучения $q=Q_{п-ч}/F_{ч}$ в виде

$$q = \frac{1,8\Delta x^2 F_{п}}{R^4} \left[\left(\frac{273+t_{п}}{100} \right)^4 - 92 \right], \quad (6)$$

где $F_{п} = F_1$ – площадь поверхности излучения панели, м^2 ; $t_{п}$ – температура излучающей поверхности панели, $^{\circ}\text{C}$.

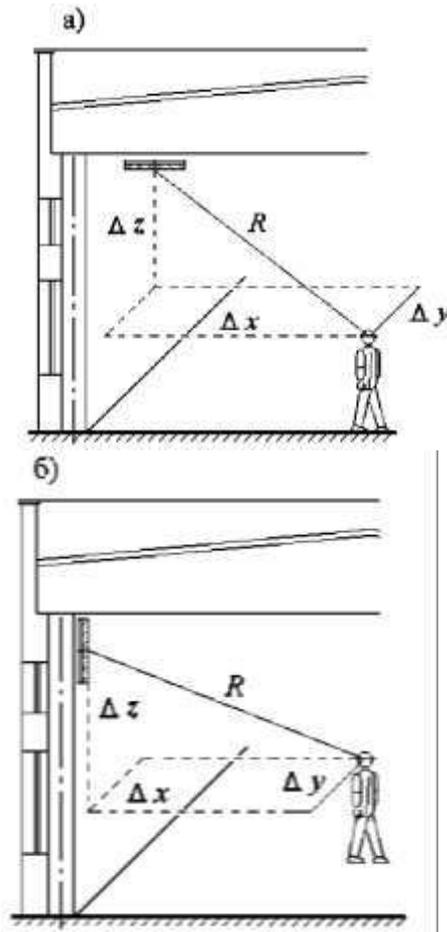


Рис. 2. Схема к расчету теплообмена излучением: а) - горизонтальное расположение панели; б) - вертикальное расположение панели.

С использованием формулы (6) можно решать следующие задачи: по заданной температуре и размерам нагревателя определять поверхностную плотность лучистого теплового потока; по заданной поверхностной плотности лучистого теплового потока определять допустимую температуру поверхности излучателя; по заданной поверхностной плотности лучистого теплового потока и по характеристикам нагревателя можно найти высоту его размещения.

С целью выполнения требований нормативных документов в части допустимой интенсивности облучения выполняются подробные расчеты q в обслуживаемой рабочей зоне при различных вариантах расположения нагревателей. При этом каждый панельный нагреватель рассматривается как точечный источник тепла, расположенный в центре площади панели.

После выбора типа, количества и схемы размещения нагревателей в отапливаемом помещении выявляется наиболее

характерная (расчетная) точка в рабочей зоне с вероятной наибольшей интенсивностью облучения. Для этой точки вычисляются значения q от каждого нагревателя отдельно и затем суммируются. Эта суммарная интенсивность облучения и должна быть ниже допустимого значения. В случае несоблюдения этого условия вносятся коррективы в принятые исходные данные и расчет повторяется.

Описанную методику расчета параметров систем инфракрасного отопления помещений с использованием электрических панельных нагревателей, по нашему мнению, следует признать передовой и заслуживающей особого внимания в настоящее время. Вместе с тем и эта методика нуждается в дальнейшем развитии и совершенствовании. В ней, в частности, отсутствует четкий алгоритм, позволяющий рассчитывать параметры оптимального микроклимата в рабочих зонах, соответствующие нормам ДСН 3.3.6.042-99, при минимальных затратах электроэнергии на отопление. Кроме того, в описанной методике в качестве основного параметра, характеризующего природу инфракрасного излучения, принята плотность лучистого теплового потока (q), а длина волны электромагнитного излучения (λ) при выполнении расчетов не учитывается.

Наблюдения за длительной эксплуатацией систем инфракрасного отопления с использованием различных типов электрических панельных нагревателей показали, что из-за недооценки значений длины волны электромагнитного излучения даже при оптимальных и допустимых значениях параметров, характеризующих микроклимат в рабочих зонах отапливаемых помещений, возможны случаи негативного воздействия облучения на организм человека [12].

Институтом медицины труда АМН Украины [13] проведены фундаментальные исследования, посвященные изучению вопросов влияния инфракрасного излучения на организм человека. При этом установлено, что влияние инфракрасного облучения на организм человека обусловлено не только интенсивностью потока излучения, но и его спектральным составом,

характеризуемым прежде всего длиной волны. В зависимости от интенсивности и длины волны излучения были установлены три типа реакций организма: «оптимальные» (реакции адаптации), «допустимые» (компенсаторные) и «повреждающие». Повреждающие реакции сопровождаются снижением антимикробной резистентности организма, активности антиоксидантных систем, нарушением сократительной функции миокарда и сосудистого тонуса. Исследования позволили разработать рекомендации для выбора допустимых значений интенсивности облучения (см. табл. 1)

Таблица 1 - Рекомендуемые величины допустимой интенсивности облучения (q) в зависимости от длины волны (λ) и теплозащиты одежды.

$\lambda_{\text{макс}}$	Интенсивность облучения (Вт/м^2) при теплозащите одежды (кло) 0,6-0,8	Интенсивность облучения (Вт/м^2) при теплозащите одежды (кло) >1
1,5	35	65
3,0	50	100
4,5	75	140
6,0	100	120

В этой таблице максимальные значения длины волны ($\lambda_{\text{макс}}$) относятся к средне- и коротковолновым нагревателям. Приведенные в ней рекомендации, безусловно, необходимо использовать при расчетах систем отопления с помощью электрических инфракрасных панельных нагревателей. При этом параметры микроклимата в рабочих зонах отапливаемых помещений должны полностью соответствовать нормам ДСН 3.3.6.042-99 [11] и не противоречить рекомендациям АМН Украины [13].

Выводы. 1. В отечественной и зарубежной научно-технической литературе описаны методики расчета систем инфракрасного отопления помещений с использованием различных типов нагревателей. Некоторые из этих методик [7, 8] сложны и трудоемки. Они разработаны только для определенных типов нагревателей. Их ис-

пользование для расчетов систем инфракрасного электрического панельного отопления зачастую не представляется возможным.

2. Методики расчета, разработанные компанией «БИЛЮКС Украина» [1] и Уральским государственным техническим университетом – УПИ [9,10], в настоящее время используются для расчетов систем инфракрасного отопления помещений с помощью электрических панельных нагревателей. Причем методику компании «БИЛЮКС Украина» чаще всего используют для расчета систем отопления с применением длинноволновых нагревательных приборов.

3. Наиболее совершенной является методика расчета систем инфракрасного электрического панельного отопления, разработанная УГТУ – УПИ [9, 10]. Однако, в этой методике нет алгоритма, позволяющего рассчитывать параметры оптимального микроклимата в рабочих зонах помещений в соответствии с ДСН 3.3.6.042-99 при минимальных затратах электроэнергии на отопление. Кроме того, в ней при определении величины допустимой плотности лучистого теплового потока не учитывается длина волны электромагнитного излучения, что при использовании для отопления систем средне- и коротковолновых электрических панельных нагревателей не гарантирует исключения случаев неблагоприятного воздействия облучения на здоровье человека, находящегося в рабочей зоне.

4. Применяемые в настоящее время в Украине методы расчета систем инфракрасного отопления с помощью электрических панельных нагревателей нуждаются в дальнейшем совершенствовании и развитии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Система потолочного отопления на базе электрических длинноволновых обогревателей. Техническая документация. БИЛЮКС – Отопление суперэкономичное. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://bilux.ua>, 2015. – 67 с.

2. Инфракрасные обогреватели. [Электронный ресурс] Режим доступа: E-mail: info@electromax.com.ua, 2015. – 4 с.
3. Пшеничников В.М. Энергосберегающие децентрализованные системы отопления. // «Энергосбережение», № 6. – 2005. – С.78-79.
4. Инфракрасные нагреватели на стадионах. Реферативный журнал «Энергетика», №3, Москва: ВИНТИ, 2001. – С.22.
5. Эко Лайн – уникальная система обогрева. НТФ «Украинская промышленность». [Электронный ресурс] Режим доступа: www.quartza.net, 2005. – 2 с.
6. Инфракрасные обогреватели. БИЛЮКС. [Электронный ресурс] Режим доступа: www.bilux.kh.ua, 2015. – 20 с.
7. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). Учебник для ВУЗов. М.: «Высшая школа», 1982.
8. Богуславский Л.Д. и др. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Справочное пособие. М.: «Стройиздат», 1990.
9. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Поммер А.А. Совершенствование методики расчета лучистого отопления. Материалы международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М: Изд. МГСУ, 2005. – С. 107-112.
10. Науменко А.В., Кузнецов П.В., Толстова Ю.И., Шумилов Р.Н. Энергоэффективные системы отопления. Учебное пособие. Россия: Уральский государственный технический университет – УПИ, Екатеринбург, 2003. –107 с.
11. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99. Постанова Державного санітарного лікаря України від 1 грудня 1999 р., № 42. – 11 с.
12. Молька В. Инфраизлучатели. Три «Э» в отоплении промышленных помещений. Словакия, 2005. – 127 с.
13. Гвозденко Л.А. Обоснование допустимых нормативов облученности инфракрасным излучением в зависимости от его спектрального состава. Институт медицины труда АМН Украины, г. Киев, «Медицина труда и промышленная экология», № 12, 1999.

Рецензент: д-р техн. наук А.О. Редько