

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ имени В.В.КУЙБЫШЕВА

На правах рукописи

МЕЛЮШЕВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИЯХ
ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Специальность 05.23.03 - "Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение, акустика и
осветительная техника"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

МОСКВА - 1975

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте
имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель – заслуженный архитектор РСФСР,
доцент, кандидат архитектуры
Ф.Д.Серебровский.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Сандер А.А.,
кандидат технических наук И.С. Шаповалов.

Ведущая организация – ЦНИИЭП инженерного оборудования.

Защита диссертации состоится на заседании Совета по при-
суждению учёных степеней факультета Теплоснабжения и вентиляции
МИСИ им. В.В.Куйбышева " _____ " _____ 1975 г.,
в _____ часов, в аудитории № _____, Москва,
Шлюзовая наб., 8.

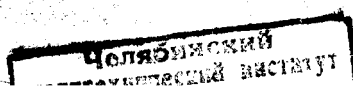
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института
за 10 дней до защиты.

Просим Вас принять участие в защите и направить Ваш отзыв
по автореферату в двух экземплярах по адресу: ИИИИ4, Москва,
М-ИИ4, Шлюзовая набережная, 8, Учёный Совет.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1975 г. № _____

Учёный секретарь Совета
кандидат технических наук, доцент

В.П.СИННИЦИН



Повышение уровня индустриализации строительства и увеличения степени готовности строительных конструкций определяет перспективность применения панельно-лучистого отопления. В связи с этим нужен более тщательный подход к выбору той или иной модификации системы лучистого отопления, которая обеспечивала бы заданные условия теплового комфорта при наименьших затратах.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, приложения и библиографии.

Человек испытывает ощущение теплового комфорта в тех случаях, когда его терморегуляционная система находится в состоянии наименьшего напряжения.

Такие условия в помещении могут обеспечить различные системы панельно-лучистого отопления, но для выбора наиболее целесообразной необходима тщательная характеристика тепловой обстановки, которую они создадут в помещениях. Неудачное размещение теплоотдающих поверхностей может создавать местный перегрев ограждений, что приводит к образованию дискомфортных зон.

Существующие методы расчёта основных параметров панельно-лучистого отопления позволяют определить лишь усреднённые температуры внутренних поверхностей, знание которых не даёт полного ответа о комфортности помещения в целом, по ним нельзя определить зоны комфортных и дискомфортных температур, т.к. нет достаточно простых и надёжных способов определения степени нагрева отдельных элементов поверхностей, оценки влияния охлаждённых и нагретых поверхностей на температурный режим ограждений, а также степени влияния тех или иных ограждений на теплоощущения человека. Вместе с тем наличие таких данных позволит более полно использовать достоинства лучистого отопления и обеспечить комфортные условия в помещениях жилых и общественных зданий.

Комфортность помещений в настоящее время оценивается по средним температурам поверхностей при нахождении человека в двух контрольных точках: в центре помещения (первое условие комфортности) и на расстоянии 1 м от нагретых или охлаждённых поверхностей (второе условие комфортности). Такая методика оценки является недостаточной, ибо не учитывается действительное распределение температур по поверхностям помещения, пространственное распределение лучистых потоков, а площадь и расположение дискомфортных зон не может быть выявлена.

Поэтому целью данной работы является исследование влияния действительного пространственного распределения лучистых потоков и неравномерности распределения температур по поверхностям ограждений на лучистый теплообмен и комфортность температурной обстановки в помещениях, а на основе этих исследований разработка методики расчёта лучистого теплообмена и оценки комфортности помещений.

Основным в исследовании процессов лучистого теплообмена принят экспериментальный метод с использованием световых моделей. В работе использованы и другие методы исследования: расчётно-теоретический, теплового моделирования и натуральных измерений.

Помещение рассматривается как замкнутый объём прямоугольного параллелепипеда. Основные параметры лучистого теплообмена в нём определяются путём составления системы алгебраических уравнений, описывающей с достаточной степенью точности лучистый теплообмен. Такая система была составлена относительно падающего излучения и решена для конкретных условий с учётом

двухкратного отражения. Сопоставление с экспериментом на световых моделях показало (поскольку теоретическое решение не учитывает характера пространственного распределения излучения в отличие от опыта), что расхождения составляют 10-15%. Это позволило сделать вывод о необходимости внесения в теоретические расчёты поправок, учитывающих пространственное распределение излучения, за счёт яркости собственного или отражённого излучения L , которая обычно принимается одинаковой во всех направлениях. В известной формуле расчёта лучистого теплообмена прямоугольника и элементарной площадки Δi , расположенных в перпендикулярных плоскостях, она была заменена яркостью, величина которой изменяется в зависимости от угла направления излучения. Сделано это было путём подбора кривой в виде эллипса с полуосями a и b , описывающей это изменение. После интегрирования выражения для облучённости площадки Δi и последующего вывода в работе была получена формула для углового коэффициента с учётом пространственного распределения излучения. Поскольку она очень сложна для практического применения, более рациональным был бы учёт пространственного распределения излучения с помощью введения поправочных коэффициентов K_k , которые можно получить в результате опытов со световыми моделями для различных сочетаний излучающих и облучаемых поверхностей. Тогда в общем виде для падающего лучистого потока F_i на поверхность S_i решение может быть записано следующим образом:

$$F_i = F_k^{ud} \cdot K_k \cdot \varphi_{k-i}, \quad (I)$$

где F_k^{ud} - лучистый поток идеально рассеивающей поверхности, излучаемый или отражаемый в полупространство;

φ_{k-i} - угловой коэффициент лучистого обмена поверхностями S_k и S_i ;

K_k - поправочный коэффициент собственного или отражённого излучений, учитывающий пространственное распределение излучения.

Как уже указывалось, решение системы уравнений приводит к определению усреднённых температур различных поверхностей. А так как внутренние ограждения нагреваются неравномерно, в исследовании была получена формула для нахождения температур отдельных элементов рассматриваемых поверхностей $\tau_{\Delta i}$, исходя из усреднённых температур и интенсивности облучения со стороны панелей обогрева. Использовались при этом уравнения теплового баланса.

$$\tau_{\Delta i} = \frac{\sum \varphi_{\Delta i-S_k} \cdot \tau_k \cdot m_k + \alpha_k \cdot t_s \pm q_i}{\sum \varphi_{\Delta i-S_k} \cdot m_k + \alpha_k} \quad (2)$$

где τ_k, t_s - средневзвешенные температуры ограждения S_k и воздуха помещения;

α_k - коэффициент конвективного теплообмена в ккал/м²·ч град;

$m_k = C_{np} \cdot \beta_k$ - произведение приведённого коэффициента излучения C_{np} на величину температурного коэффициента $\beta_k = 0.81 + 0.005 \cdot (\tau_i + \tau_k)$;

q_i - дополнительный приток или сток тепла элемента поверхности Δi в ккал/м² ч ;

$\varphi_{\Delta i-S_k}$ - угловой коэффициент обмена элемента Δi и поверхности S_k ;

Наиболее трудоёмким при определении $\tau_{\Delta i}$ является нахождение угловых коэффициентов $\varphi_{\Delta i-S_k}$. Их можно определять и с помощью светового моделирования. А так как проще при этом

за излучающую поверхность принять S_k , то $\varphi_{\Delta i-S_k}$ в формуле (2) заменяется на численно равную величину P_k (отношение освещённости облучаемой площадки Δi и светности излучающей S_k).

Учёт неравномерного нагрева внутренних поверхностей в помещении на оценку комфортности можно производить также с помощью поправочных коэффициентов a_R , тогда формула для радиационной температуры t_R (первое условие комфортности) будет иметь следующий вид:

$$t_R = \sum \varphi_{ч-i} \cdot t_i \cdot a_R, \quad (3)$$

где $\varphi_{ч-i}$ - коэффициент облучённости с человека на отдельные поверхности с температурой t_i при положении человека в середине помещения.

Таким образом теоретические исследования показали, что ряд задач значительно проще решить с помощью светового моделирования, используя его в дальнейшем для нахождения аналитического решения поставленных вопросов.

Метод светового моделирования уже применялся на практике, однако он ещё недостаточно исследован для решения вопросов лучистого теплообмена в помещениях, поэтому в работе была сделана попытка экспериментально доказать аналогию между тепловыми и световыми излучениями с тем, чтобы в дальнейшем, показав сходство оптических параметров образца и модели, широко использовать этот метод. Опыт проведён для простейшего случая лучистого обмена (излучающая поверхность и приёмник лучистой энергии, располагаемый на различных расстояниях от излучающей плоскости). Размеры излучающих и облучаемых поверхностей в опытах со световой и тепловой моделью были приняты одинаковыми. В результате

получены кривые светового и теплового излучений, которые доказывают возможность светового моделирования тепловых излучений.

Поскольку применявшиеся ранее установки для светового моделирования непригодны для решения поставленных вопросов в исследовании, в лаборатории строительной физики кафедры архитектуры ЧПИ была сконструирована специальная установка. Установка имеет световую камеру, прямоугольную в плане, на которую устанавливаются световые модели. Для перемещения фотоэлемента служит координатник. Сверху установка закрывается чёрным бархатом для поглощения внутренних излучений и защиты от внешних.

Световые модели (рис.1) выполнены в виде ящика (1) с па-

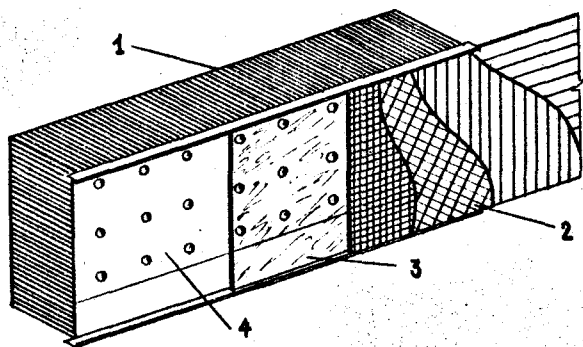


Рис.1. Схема световой модели; 1 - деревянный ящик; 2 - излучающая поверхность модели с отмывкой; 3 - светорассеивающее стекло; 4 - панель с лампочками.

нель (4), на которой расположено несколько рядов лампочек накаливания, создающих равномерное облучение поверхностей (2) и

(3). Поверхности (2) и (3) выполнены из оргстекла. Внутреннее стекло (3) является постоянным для данной модели и служит для дополнительного выравнивания светности излучающей поверхности, а наружное (2) – сменное. К нему по кромкам приклеивается слой ватмана. Он-то и характеризует все оптические свойства световых моделей.

Как показала практика, многие поверхности и, в частности, ватман имеют характеристики пространственного распределения лучистой энергии, отличные от поверхностей, строго подчиняющихся закону Ламберта. Поэтому для световых моделей на гониофотометре были получены индикатрисы рассеяния собственного и отражённого излучений (плоскостные и пространственные). С помощью специально сконструированной в исследовании установки аналогичные характеристики были получены и для теплового излучения некоторых строительных материалов, а в натуральных условиях – панели отопления с использованием радиометров с насадками. Индикатрисы рассеяния инфракрасного и светового излучений хорошо согласуются.

В натуральных условиях могут встречаться поверхности с различными оптическими свойствами. Больше того, одна какая-либо поверхность может быть нагрета неравномерно, и, чтобы смоделировать её, необходимо искусственным путём создавать различную светность излучающей поверхности (рис. I). Если различную светность равномерно нагретых поверхностей можно получить за счёт изменения напряжения в моделях, то неравномерно нагретые поверхности и поверхности с различной отражательной способностью моделируются только за счёт отмычки серыми тонами акварельной (или гуашевой) краски различной консистенции.

При измерении светности излучающей поверхности методом на-

ложения фотоэлемента происходит завышение последней за счёт переотражения света между поверхностью и фотоэлементом. Опытным путём была получена кривая поправочных коэффициентов в зависимости от отражательной способности поверхностей моделей. Разработана методика для определения светности неравномерно отмытой поверхности (2), рис.1.

Применение метода светового моделирования позволило решить ряд задач, поставленных выше, и, в первую очередь, получить поправочные коэффициенты K_d , связанные с характером распределения излучения в пространстве.

Рассмотрены случаи лучистого теплообмена прямоугольника и элементарной площадки, двух прямоугольников, расположенных параллельно и перпендикулярно, с учётом и без учёта отражения от соседних поверхностей.

В случае лучистого обмена прямоугольника и элементарной площадки оказалось, что не вся поверхность прямоугольника оказывает влияние на облучённость площадки. Экспериментально получены кривые, учитывающие размеры активной (приведённой) площади, выведены формулы для определения аналитически её длины (b_{np}) и высоты (h_{np}). Для случая, когда площадка Δi располагается вдоль перпендикуляра, восстановленного из угла излучающей плоскости, полученные выражения для (b_{np}) и (h_{np}) имеют вид:

$$b_{np} = 3.776 \cdot c^{0.63}, \quad h_{np} = 6.915 \cdot c^{0.53} \quad (4)$$

Для случая, когда площадка Δi располагается также вдоль перпендикуляра, но уже параллельно излучающей плоскости

$$v_{np} = R_{np} = 2.2 \cdot C^{0.78} \quad (5)$$

В конечном итоге разработана методика определения поправочных коэффициентов K_a .

Для определения поправочных коэффициентов первично распределённого K_a и первично отражённого K_{i-n} лучистых потоков двух различно расположенных плоскостей в объёме прямоугольного параллелепипеда было испытано двадцать вариантов различных объёмов. В каждом опыте выбиралась какая-либо плоскость объёма и для неё находились прямые и отражённые потоки поочередно по отдельным группам точек. В результате построены графики поправочных коэффициентов K_a и K_{i-n} для различных сочетаний излучающих и облучаемых плоскостей в зависимости от их геометрических параметров.

Опыты показали, что учёт пространственного распределения излучения даёт возможность проводить расчёты с большей точностью. Если считать распределение излучения идеально-диффузным, то ошибка при определении первично распределённых потоков может достигать максимально до 30%, а с учётом первично отражённых потоков (при коэффициенте отражения $R = 0,75$) - до 40%.

В Челябинске для перспективного строительства принята система с нагревательными элементами, расположенными в наружных панелях, поэтому в исследовании этот способ обогрева рассматривается более подробно.

При составлении уравнений теплового баланса в помещении наиболее важным моментом является определение угловых коэффициентов. Для простых случаев существует серия графиков, значи-

тельно упрощающих расчёт. Для более сложных случаев приходится использовать специальные формулы, основанные на законах алгебры однородных потоков (законах взаимности и распределительности). Однако не все случаи взаимного расположения поверхностей учтены в известных формулах и, кроме того, расчёты по этим формулам трудоёмки.

Одним из сложных случаев лучистого обмена является теплообмен внутренних поверхностей с наружным ограждением, имеющим оконный проём. В тех случаях, когда отопительные элементы расположены во внутренних стенах, температуру наружной поверхности (стены и окна) осредняют и определяют угловые коэффициенты без учёта оконного проёма. При расположении же регистров отопления в наружных стенах приходится находить угловые коэффициенты лучистого обмена окна и панели отопления сложной конфигурации с внутренними поверхностями. Причём достаточно знать один из угловых коэффициентов (предположим $\varphi_{\text{окно-вн}}$), чтобы найти другой коэффициент ($\varphi_{\text{пан-вн}}$), используя свойство распределительности лучистых потоков.

Для облегчения практического получения угловых коэффициентов обмена оконного проёма (а, следовательно, и панели отопления) с внутренними поверхностями проведена серия опытов со световыми моделями. В опытах варьировалась ширина оконного проёма (C) в зависимости от ширины помещения (B) (от $0,33 B$ до $1,0 B$). Размеры надоконной и подоконной частей были приняты постоянными ($0,12 h$ и $0,34 h$). Поскольку площадь деревянного заполнения оконного проёма относительно невелика, излучающая поверхность была принята однородной.

Результаты опыта сведены к четырём случаям лучистого обмена оконного проёма и внутренних поверхностей помещения. Таким образом, если излучающая поверхность равномерно нагрета, угловые коэффициенты можно определять, используя полученные зависимости. Если же неравномерность нагрева велика, то определить угловые коэффициенты с учётом реальной обстановки можно, только воспользовавшись световыми моделями. Как раз такой случай и представляет собой рассматриваемая система обогрева с регистрами в наружной стене.

В соответствии с характером распределения поверхностной температуры была изготовлена световая модель излучающей панели методом построения усреднённых температурных полей с градиацией 10°C и соответствующей отмычкой относительно среднезвешенной температуры внутренних ограждений. Зная светность чистого ватмана, имитирующего поверхность с наиболее высокой температурой, можно определить светность остальных участков излучающей панели по коэффициентам пропускания, а затем и среднезвешенную светность.

Полученные экспериментальным путём угловые коэффициенты $\varphi_{\text{пан-вн}}$ и коэффициенты освещённости $P_{\text{пан}} = \varphi_{\text{пан-вн}}$ значительно отличаются от теоретических, определяемых без учёта неравномерного нагрева панели отопления. Разница колеблется от 10 до 25%. Особенно большие расхождения наблюдаются в распределении световых потоков по отдельным поверхностям помещения, которое очень наглядно характеризуют кривые равных коэффициентов освещённости. На основании опыта разработаны рекомендации по внесению поправок при аналитическом определении угловых коэффициентов обмена панели обогрева с внутренними поверхностями.

Панель отопления нагревает внутренние поверхности неравномерно. В свою очередь, неравномерна и отдача тепла внутренними поверхностями наружным (окно). Поэтому для построения изотерм внутренних ограждений была использована формула (2). Расчёт проводился с использованием коэффициентов освещённости P_k . Нужно отметить, что облучаемой площадкой в опытах является Δl , независимо от того, отдаёт она тепло или получает.

Полученные изотермы позволили определить усреднённые температурные поля с градацией в 1°C . Поскольку температура ограждений ниже температуры поверхности человека, наиболее нагретые поля отмывались тёмным цветом (наименьшая теплоотдача человека), а более холодные — пропорционально теплоотдаче человека (вплоть до чистого ватмана).

Полученными моделями внутренних поверхностей, панели обогрева и окна было произведено облучение модели человека с целью определения в конечном итоге радиационных температур помещения в различных точках по формуле (3).

Модель человека имитировалась в виде прямоугольного параллелепипеда с тремя группами поверхностей (голова, туловище, ноги). Площади их принимались по данным А.Мачкаши. В середине каждой грани на высоте 0,4 м ; 1,2 м ; 1,7 м (в масштабе 1:17) помещался фотоэлемент, а затем определялся средневзвешенный угловой коэффициент по площадям с поправкой в виде радиационных коэффициентов Q_n , учитывающих действительную облучённость или теплоотдачу человека по сравнению с теплоотдачей или притоком тепла, когда температуры ограждений принимаются средневзвешенными. Опытным путём установлено, что определять облучённость человека от различных ограждений можно не в трёх уровнях, а в од-

ном на высоте 0,95 м от пола. Это значительно упрощает вычислительные операции и сокращает время эксперимента. В итоге были получены радиационные температуры в различных точках помещения. Оказалось, что учёт неравномерного нагрева внутренних поверхностей и панели обогрева увеличивает диапазон изменения радиационных температур примерно в три раза по сравнению с существующими расчётами, использующими средневзвешенные температуры внутренних поверхностей. В отдельных случаях это может привести к выявлению дискомфортных зон, которых по существующей оценке не должно быть.

С целью проверки некоторых теоретических и экспериментальных исследований были проведены натурные измерения в двух помещениях с различным расположением панелей обогрева. Измерялись температуры поверхностей и воздуха помещений.

Опыты подтвердили предположение о неравномерности нагрева внутренних поверхностей и наличии закономерностей в распределении температур, связанных с расположением панелей отопления.

Для сопоставления с натурными измерениями было проведено моделирование теплообмена в помещениях. Полученные в опыте изотермы внутренних поверхностей имеют такой же характер их распределения и хорошую сходимость числовых значений.

Результаты экспериментальных исследований показали, что световое моделирование позволяет воспроизводить вероятные условия лучистого теплообмена, учитывая неравномерный нагрев внутренних поверхностей. В свою очередь, учёт вероятного нагрева внутренних поверхностей позволяет более точно определить радиационные температуры в помещении, границы комфортных и дискомфортных зон и производить более детальный анализ проектируемого помещения и места расположения нагревательных панелей.

Результаты исследования предназначены для использования их в практике проектирования. Метод расчёта лучистого теплообмена и оценки комфортности, предлагаемый автором, в 1972 - 1974 годах был использован проектными институтами "Челябинскгражданпроект" и "Промстройпроект". В ноябре 1974 г. "Рекомендации по расчёту лучистого теплообмена и оценке комфортности помещений" (приложение к диссертации) были рассмотрены научно-техническим советом института "Челябинскгражданпроект", одобрены и приняты к практическому использованию в проектировании гражданских зданий. Порядок использования результатов исследования приведён ниже.

В начальной стадии расчёта составляются и решаются системы уравнений теплового баланса проектируемого помещения. На этом этапе определяется одна из важнейших величин - угловые коэффициенты лучистого обмена различных поверхностей. В некоторых случаях применение светового моделирования уже на первом этапе является весьма целесообразным. Оно значительно упрощает процесс нахождения угловых коэффициентов, когда теплообменивающиеся поверхности имеют сложное взаиморасположение или геометрически сложную поверхность излучения. Кроме того, результаты измерений облучённости поверхностей могут быть использованы для последующих этапов расчёта.

Учёт пространственного распределения излучения производится также на первом этапе расчётов по формуле (I) с помощью введения поправочных коэффициентов K_{α} , определяемых по графикам, в следующих случаях:

а) при определении лучистых составляющих теплоотдачи нагревательной панели различным ограждениям, выделяя при этом наружное ограждение; для внутренних поверхностей определяется один по-

правочный коэффициент из условия $\sum \varphi_{пан-i} \cdot K_{пан-i} = 1$;

- б) при расположении нагревательной панели в плоскости потолка определяется дополнительно поправочный коэффициент для пола независимо от того, является он наружным ограждением или нет (в этом случае для пола составляется уравнение теплового баланса);
- в) когда по каким-либо причинам для внутренних поверхностей составляется несколько уравнений теплового баланса.

В результате решения системы уравнений определяются средне-взвешенные температуры характерных поверхностей в помещении (панели обогрева, наружных ограждений и внутренних поверхностей) и воздуха. Если полученные данные удовлетворяют условиям комфортности (в противном случае составляются уравнения комфортности и решаются совместно с системой уравнений), необходимо произвести расчёт полей поверхностных температур различных ограждений. Расчёт ведётся по формуле (2), причём, если панель обогрева занимает всю высоту помещения или большую его часть, достаточно определить температуры в нескольких точках среднего сечения по длине облучаемой поверхности и построить кривую распределения поверхностных температур. Наибольшее количество точек берётся в зоне повышенной облучённости со стороны панели обогрева и наибольшей теплоотдачи наружному ограждению. В расчёте участвуют только активные поверхности, т.е. такие, которые имеют температуры, отличные от расчётной поверхности. В случае, когда панель обогрева располагается несимметрично по отношению к расчётной плоскости, построение кривых в среднем сечении уже является недостаточным. Необходимо назначить несколько сечений через 0,5м, симметрично расположенных относительно среднего сечения, и такое количество точек (лучше принцип расположения точек сох-

ранить таким же, как и для одного сечения), которое даст возможность построить изотермы поверхностных температур. Если они покажут, что поверхность имеет большую неравномерность нагрева в поперечном направлении, то в дальнейшем только с помощью светового моделирования можно установить истинное влияние этой поверхности на условия комфортности в помещении.

Оценка по первому условию комфортности должна производиться в нескольких наиболее характерных точках. Таковыми могут служить точки в зонах расположения панелей отопления и наружных ограждений, а также в зонах наименьшего влияния теплоотдающих поверхностей.

Использование световых моделей позволяет учитывать истинную величину теплоотдачи человека в различных точках помещения по сравнению с теплоотдачей, когда температуры ограждений принимаются средневзвешенными, путём получения специальных радиационных коэффициентов Q_R и введения их в расчётную формулу (3).

Если радиационная температура определяется аналитически (при этом $Q_R = \frac{\tau_i^{ант}}{\tau_i^{сп}}$), то учёт неравномерного нагрева производится за счёт определения приведённых температур поверхностей. Приведённая температура каждого ограждения $\tau_i^{ант}$ находится по приведённой площади с помощью графиков или формул (4) и (5) и кривой распределения поверхностных температур в среднем сечении. По этим же кривым определяем средние температуры каждого ограждения $\tau_i^{сп}$. Подставляя значение $Q_R = \frac{\tau_i^{ант}}{\tau_i^{сп}}$ и $\tau_i^{сп}$ вместо t_i в формулу (3), получаем выражение для радиационной температуры, определяемой аналитическим способом.

$$t_r = \sum \varphi_{ч.и} \cdot \tau_i^{\text{ант}} \quad (6)$$

Сопоставление аналитического способа получения радиационных температур с экспериментальным (на световых моделях) показывает их идентичность. Полученные радиационные температуры позволяют определить границы возможных дискомфортных зон, которые должны быть ликвидированы.

Проведённые исследования, помимо уже рассмотренных вопросов, ставили своей целью более детальную оценку условий комфортности в помещениях с нагревательными элементами, замоноличенными в наружные панели (I вариант). Рассмотрено два помещения с различными геометрическими параметрами. В обоих случаях отмечены две небольшие дискомфортные зоны (вблизи оконного проёма и в глубинной части помещения). Зона дискомфорта у оконного проёма отмечена только при расчётных наружных температурах. Глубинная же дискомфортная зона может быть устранена за счёт некоторого уменьшения длины помещения.

Для сравнения с рассматриваемым вариантом расположения нагревательных элементов произведён расчёт помещений с сосредоточенными перегородочными панелями обогрева (II вариант) и контурной перегородочной панелью обогрева (III вариант).

Во втором варианте появляются дискомфортные зоны (перегрев) у панелей отопления. Кроме того, такое сочетание наружного ограждения и панелей обогрева создаёт большой перепад радиационных температур в одной из важнейших зон помещения. В третьем варианте значительная зона дискомфорта наблюдается у оконного проёма (переохлаждение).

Таким образом из рассмотренных вариантов наиболее пред-

почтительным, исходя из условий теплового комфорта, является I вариант с нагревательными элементами в наружной стене.

Основные выводы

1. На основе проведённых исследований разработан метод расчёта и оценки комфортности. Этот метод даёт возможность воспроизвести вероятные условия теплового режима в помещениях под действием лучисто-конвективного теплообмена и определить тепловые ощущения человека по всему помещению при различных расчетных параметрах.

2. В отличие от существующих вновь разработанный метод позволяет учесть пространственное распределение лучистых потоков, неравномерный нагрев внутренних ограждений, степень влияния различных ограждений на оценку комфортности, получить полную характеристику теплового режима в пределах всего помещения и выявить зоны комфортности.

3. Проведённые исследования показали, что дискомфортные зоны в помещениях могут быть сведены к минимуму за счёт изменения места расположения панелей обогрева, их размеров и поверхностных температур.

4. Разработанный метод даёт возможность использовать световое моделирование, которое существенно упрощает математические операции и позволяет в необходимых случаях учесть многократное отражение лучистых потоков. Наиболее целесообразно использовать метод светового моделирования при нахождении угловых коэффициентов. При этом может быть использована световая установка, разработанная нами в ЧПИ.

5. Исследования показали, что системы панельно-лучистого отопления при рациональном расположении панелей обогрева спо-

собны создать условия теплового комфорта во всём помещении, что недостижимо при использовании местных нагревательных приборов.

6. Из рассмотренных вариантов размещения теплоотдающих поверхностей наиболее благоприятные условия теплового режима создаёт вариант с греющими элементами в наружных стенах, который и был принят для перспективного строительства в г.Челябинске.

7. Разработанный метод подробно изложен в "Рекомендациях по расчёту лучистого теплообмена и оценке комфортности помещений", одобренных НТС института "Челябинскгражданпроект" для применения их в практике проектирования. Использование разработанного метода при проектировании позволит избежать дорогостоящих испытаний в климатических камерах.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях:

1. Мелюев В.В. Световое моделирование тепловых излучений.

Сб.трудов ЧПИ "Исследования по строительной физике и прикладной геометрии", №60, Челябинск, 1970.

2. Мелюев В.В. Некоторые вопросы светового моделирования лучистого теплообмена для поверхностей, не подчиняющихся закону Ламберта. Сб. "Микроклимат с/х зданий и вопросы строительной физики". Изд. ОНТИ ЦНИИЭП Сельстроя, Апрелевка, 1970.

3. Мелюев В.В. Распределение инфракрасного излучения в пространстве некоторыми ограждающими конструкциями. Сб.трудов ЧПИ "Проблемы управления микроклиматом в обогреваемых зданиях", №105,

Челябинск, 1971.

4. Мелюшев В.В. Лучистый теплообмен в системе нескольких поверхностей. Сб. трудов ЧПИ "Вопросы градостроительства и строительной физики", МГОУ, Челябинск, 1972.
5. Мелюшев В.В. О методах учёта пространственного распределения излучения поверхностями в технических расчётах. Сб. трудов ЧПИ "Вопросы градостроительства и строительной физики", МГОУ, Челябинск, 1972.
6. Мелюшев В.В. Определение угловых коэффициентов лучистого обмена в некоторых сложных случаях. "Известия ВУЗов", раздел "Строительство и архитектура", 1973, №7.

