

6
А-52

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

РСФСР

ВОЛГОГРАДСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

На правах рукописи

МАЛЫШЕВА ЛЮДИЛА АФАНАСЬЕВНА

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССИВНОЙ ЭКРАННОЙ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ С ТЕРМИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ЭКРАНОВ

(05.23.03. - теплоснабжение, вентиляция, кондициони-
рование воздуха, газоснабжение, акусти-
ка и осветительная техника)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

ВОЛГОГРАД

1973

МИНИСТЕРСТВО ВЫШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РСФСР

ВОЛГОГРАДСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

На правах рукописи

МАЛЫШЕВА ЛЮДМИЛА АФАНАСЬЕВНА

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССИВНОЙ ЭКРАННОЙ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ С ТЕРМИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ЭКРАНОВ

(05.23.03. - теплоснабжение, вентиляция, кондициони-
рование воздуха, газоснабжение, акусти-
ка и осветительная техника)

o

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

ВОЛГОГРАД

1973

Работа выполнена в Волгоградском институте инженеров
городского хозяйства

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор БОЙКОВ Г.П.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор МЕЩИК И.С.
кандидат технических наук, доцент ТОРЛОПОВ А.А.

Ведущее предприятие - металлургический завод
"Красный Октябрь" (г.Волгоград)

Автореферат разослан 14 сентября 1973г.

Защита диссертации состоится 16 сентября 1973г.

в _____ часов на заседании ученого Совета по присуждению
степеней Волгоградского института инженеров городского
хозяйства по адресу: г.Волгоград-74, ул.Академическая, 1,
ВИИГХ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СОВЕТА

Г.В.КРАСОВСКАЯ

В директивах XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану развития материального производства поставлена задача: улучшить использование топлива, тепловой и электрической энергии и повысить технико-экономические показатели работы энергетического оборудования.

Выполнение поставленных задач невозможно без экономии тепловой энергии, которая большей частью достигается применением совершенных видов изоляции. Тепловая изоляция имеет широкое применение во всех областях народного хозяйства. Значительную часть стоимости многих сооружаемых объектов в металлургической промышленности и строительстве составляют затраты на тепловую изоляцию. Правильный теплотехнический расчет существующих видов изоляции и некоторых конструктивных элементов нагревательных печей позволяет сократить тепловые потери и создает резервы увеличения производительности труда.

Наиболее эффективным видом тепловой изоляции в настоящее время является экранная изоляция. В том случае, когда она выполняется из тонколистового металла с высокой отражательной способностью - ее в литературе именуют "тонкой". К такому типу изоляций относится альфолевая изоляция, которая выполняется из листов алюминиевой фольги, разделенных воздушной прослойкой от 1,5 до 3 мм. Обладая высокими теплозащитными свойствами она обладает и существенными недостатками: трудностью монтажа и возможностью "короткого замыкания", снижающего эффект экранирования. В связи с этим на практике часто идут на увеличение жесткости экранов и как следствие этого и емкости их. В этом случае получают так называемое

"массивное" экранирование, поскольку термическое сопротивление экранов будет отличным от нуля. Вопрос прогрессивной изоляции в настоящее время исследован недостаточно.

Задача реферируемой работы состояла в нахождении методики расчета прогрессивных экранов в стационарном и нестационарном состояниях.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Наиболее распространенным случаем массивного экранирования является установка одного или двух экранов перед источником излучения. Такое экранирование встречается в металлургии - в конструкции безинерционных печей, в строительстве и других отраслях промышленности.

Безинерционные пламенные и электрические печи - это печи, температура рабочего пространства которых изменяется мгновенно, в отличие от обычных инерционных печей, в которых выход на заданный тепловой режим связан с большой затратой времени и перерасходом топлива. Уменьшение инерционности печей достигается установкой экрана - щита вдоль внутренних поверхностей стен. Толщина экранов, выполняемых из легковесного кирпича или огнеупорного бетона составляет 70 - 80 мм. Более сложны, но и более эффективны, является способ многократного экранирования. Массивное экранирование встречается и в строительстве. В частности его можно применить при сооружении промышленных зданий. Известно, что значительную часть теплоизбытков в теплых цехах в летнее время

составляет поступление тепла от солнечной инсоляции через ограждающие конструкции и в большей степени - кровлю. В последнем случае в верхней зоне помещения образуется перегретая воздушная "подушка", значительно ухудшающая микроклимат. Установка экрана-щита или экрана-навеса позволили бы значительно снизить нежелательные тепlopоступления.

В литературе массивное экранирование рекомендуется рассчитывать как "тонкое", т.е. пренебрегая перепадом температур по толщине экрана, что не отражает истинного распределения температур. При рассмотрении задачи с одним массивным экраном решение сводится к определению температурного поля в плоской, цилиндрической или сферической стенках (в зависимости от конфигурации экранируемой поверхности). Решение указанных задач получили Любов Б.Я., Иванов Г.П., Шваб В.А., Гликман Б.Ф. для случаев, когда теплообмен с окружающей средой осуществляется путем конвекции. Методы расчета многослойных стенок, имеющих тепловой контакт изложены в работах Темкина А.Г., Луца И.П., Ковнера С.С. и других.

Нами исследовался вопрос переноса тепла в одиночных и многослойных экранах, не имеющих теплового контакта в условиях лучистого теплообмена.

Безразмерная математическая запись прогресса плоского и цилиндрического экранов с постоянными теплофизическими характеристиками под действием лучистого тепла имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \Theta(x, \tau_0)}{\partial \tau_0} = X \cdot \frac{\partial}{\partial X} \left(X \cdot \frac{\partial \Theta(x, \tau_0)}{\partial X} \right); \quad (1)$$

$$-\frac{\partial \Theta(x, \tau_0)}{\partial X} = \text{Жи} \left[1 - \Theta^4(x, \tau_0) \right]; \quad (2)$$

$$\left(\begin{array}{l} \nu = 0; X = 0; \\ \nu = 1,0; X = \frac{z_1}{\delta}; \end{array} \right)$$

$$-\frac{\partial \Theta(x, \tau_0)}{\partial X} = \text{Жи} \alpha \left[\Theta^4(x, \tau_0) - \Theta_{c2}^4 \right]; \quad (3)$$

$$\left(\begin{array}{l} \nu = 0; X = 1,0 \\ \nu = 1,0; X = \frac{z_2}{\delta}; \end{array} \right)$$

$$\Theta(x, 0) = \Theta_0 \quad (4)$$

Задача (1) ÷ (4) относится к категории несимметричных с нелинейными граничными условиями. Строго аналитически задача (1) ÷ (4) в настоящее время неразрешима ввиду отсутствия соответствующего математического аппарата. Поэтому все существующие методы решения задач при лучистом теплообмене являются приближенными. К их числу следует отнести метод последовательных приближений (Тихонов А.Н., Турилина В.С. и др.); принцип замены закона Стефана-Больцмана законом конвективного теплообмена (Соколов К.Н., Бровкин Л.А. и др.); метод аппроксимации действительного распределения температур по сечению тела полиномом $n^{\text{ой}}$ степени (Кавалеров А.В., Блохин Е.П., Бурилев Н.Г.); метод сведения линейного дифференциального уравнения с нелинейными граничными условиями к нелинейному интегральному уравнению (Кросби А.Л., Висканта Р., Саломатов В.В.); метод линеаризованных

подстановок (Видин В.В., Иванов В.В.), численные методы: метод конечных разностей, метод элементарных балансов (Вапичев А.П.) и зональный метод (Шваб В.А., Бойков Г.П., Шумаков Н.В.).

В настоящее время следует считать относительно изученным прогресс массивных тел при симметричных граничных условиях. Методов точного решения задачи (1) ÷ (4) в литературе встречено не было.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА В МАССИВНЫХ ЭКРАНАХ

При решении задачи (1) ÷ (4) мы ограничились рассмотрением нестационарного прогресса в упорядоченном режиме. Строго аналитически закономерность упорядоченного режима получена быть не может ввиду неразрешимости задачи (1) ÷ (4). Но приближенная зависимость регулярного режима может быть получена, если считать, что граничные условия (2), (3) равносильны следующим условиям

$$\Theta \left(\begin{matrix} \nu = 0; x = 0; \\ \nu = 1.0; x = \frac{z_1}{\delta} \end{matrix}, T_0 \right) = \Theta_{n1}(T_0); \quad (5)$$

$$\Theta \left(\begin{matrix} \nu = 0; x = 1.0 \\ \nu = 1.0; x = \frac{z_2}{\delta} \end{matrix}, T_0 \right) = \Theta_{n2}(T_0) \quad (6)$$

Решение системы уравнения (1) - (4), (5) и (6) имеет вид:

При $\nu = 0$

$$\int \frac{\frac{4}{\mathcal{K}i} + 4\varphi_1 \Theta_{n1}^3(T_0) + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\mathcal{K}i}}{\varphi_1 [1 - \Theta_{n1}^4(T_0)] - \varphi_2 \mathcal{Z} [\Theta_{n2}^4(T_0) - \Theta_{c2}^4] - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\mathcal{K}i} [\Theta_{n1}(T_0) - \Theta_{n2}(T_0)]} d\Theta_{n1} +$$

$$+ \int \frac{\frac{4}{\mathcal{K}i} + 4\varphi_2 \mathcal{Z} \Theta_{n2}^3(T_0) - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\mathcal{K}i}}{\varphi_1 [1 - \Theta_{n1}^4(T_0)] - \varphi_2 \mathcal{Z} [\Theta_{n2}^4(T_0) - \Theta_{c2}^4] - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\mathcal{K}i} [\Theta_{n1}(T_0) - \Theta_{n2}(T_0)]} d\Theta_{n2} =$$

$$= \mu_1^2 T_0 + \text{Const}; \quad (7)$$

при $\nu = 1,0$

$$\int \frac{4\varphi_1 \Theta_{n1}^3(T_0) - \frac{2(m-1)}{\mathcal{K}i} \frac{J_0(\mu_1 \frac{z_2}{\delta})}{J_0(\mu_1 \frac{z_1}{\delta}) + J_0(\mu_1 \frac{z_2}{\delta})} + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\mathcal{K}i \ln m}}{\varphi_1 [1 - \Theta_{n1}^4(T_0)] - m \mathcal{Z} \varphi_2 [\Theta_{n2}^4(T_0) - \Theta_{c2}^4] - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\mathcal{K}i \ln m} [\Theta_{n1}(T_0) - \Theta_{n2}(T_0)]} d\Theta_{n1} +$$

$$+ \int \frac{4\varphi_2 m \mathcal{Z} \Theta_{n2}^3(T_0) + \frac{2(m-1)}{\mathcal{K}i} \frac{J_0(\mu_1 \frac{z_1}{\delta})}{J_0(\mu_1 \frac{z_1}{\delta}) + J_0(\mu_1 \frac{z_2}{\delta})} - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\mathcal{K}i \ln m}}{\varphi_1 [1 - \Theta_{n1}^4(T_0)] - m \mathcal{Z} \varphi_2 [\Theta_{n2}^4(T_0) - \Theta_{c2}^4] - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\mathcal{K}i \ln m} [\Theta_{n1}(T_0) - \Theta_{n2}(T_0)]} d\Theta_{n2} =$$

$$= \mu_1^2 T_0 + \text{Const}. \quad (8)$$

Графическое выражение зависимостей (7), (8) во времени имеет прямолинейный характер при постоянным тангенсе угла наклона на всем протяжении нагрева после начального. Это свидетельствует о существовании упорядоченного режима при лучистом прогреве плоского и цилиндрического массивных экранов. Следует заметить, что закономерности упорядоченного режима были получены строго аналитически с точностью до константы интегрирования. Для нахождения температурного поля по сечению экранов были получены следующие соотношения:

для плоского экрана

$$\Theta(x, \tau_0) = \Theta_{n1}(\tau_0) - X [\Theta_{n1}(\tau_0) - \Theta_{n2}(\tau_0)] - \frac{\text{Sin}(\mu_1 X)}{2\mu_1} \times \left\{ \varphi_1 \text{Bi} [1 - \Theta_{n1}^4(\tau_0)] - \varphi_2 \alpha \text{Bi} [\Theta_{n2}^4(\tau_0) - \Theta_{c2}^4] - (\varphi_1 - \varphi_2) [\Theta_{n1}(\tau_0) - \Theta_{n2}(\tau_0)] \right\}; \quad (9)$$

для цилиндрического экрана

$$\Theta(R, \tau_0) = \Theta_{n1}(\tau_0) - \frac{\Theta_{n1}(\tau_0) - \Theta_{n2}(\tau_0)}{\ln m} \ln \frac{r}{r_1} - \frac{r^2}{2(m-1)} \frac{J_0(\mu_1 \frac{r^2}{\delta})}{J_0(\mu_1 \frac{r_1^2}{\delta}) - J_0(\mu_1 \frac{r_2^2}{\delta})} \cdot V_0(\mu_1, R) \times \left\{ \text{Bi} \varphi_1 [1 - \Theta_{n1}^4(\tau_0)] - m \alpha \text{Bi} \varphi_2 [\Theta_{n2}^4(\tau_0) - \Theta_{c2}^4] - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\ln m} \times [\Theta_{n1}(\tau_0) - \Theta_{n2}(\tau_0)] \right\} \quad (10)$$

$$\times \left\{ \text{Bi} \varphi_1 [1 - \Theta_{n1}^4(\tau_0)] - m \alpha \text{Bi} \varphi_2 [\Theta_{n2}^4(\tau_0) - \Theta_{c2}^4] - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\ln m} \times [\Theta_{n1}(\tau_0) - \Theta_{n2}(\tau_0)] \right\}$$

Неизвестные температуры поверхностей экранов могут быть определены по соотношению

$$(\varphi_1 + \varphi_2) [\Theta_{n1}(\tau_0) - \Theta_{n2}(\tau_0)] = \varphi_1 \text{Bi} [1 - \Theta_{n1}^4(\tau_0)] + \varphi_2 \alpha \text{Bi} [\Theta_{n2}^4(\tau_0) - \Theta_{c2}^4]. \quad (11)$$

Задача отыскания температурного поля в массивном плоском и цилиндрическом экранах сводится к совместному решению уравнений (7), (8) и (9), (10), (11).

Приведенные приближенные аналитические соотношения были проверены численным методом конечных разностей. В результате сравнения было установлено, что большая часть расчетных точек укладывается в погрешность 5%. Максимальная погрешность метода для упорядоченной стадии нагрева не превысила 10%.

Приведенная выше методика может быть применена для расчета многократного массивного экранирования. Были получены также приближенные аналитические соотношения для определения распространения тепла в двух-слойном плоском и цилиндрическом массивных экранах.

Самостоятельный практический и теоретический интерес представляет получение методики расчета стационарного состояния многократного массивного экранирования при лучистом теплообмене. Аналитические зависимости для определения температур поверхностей N - плоских экранов, имеющих одинаковый определяющий размер и неизменные во времени теплофизические характеристики, имеют вид:

$$\Theta_{na}^4 = 1 - \frac{1 - \Theta_{c2}^4}{1 + \sum_{i=1}^{i=N} \mathcal{H}_i \mathcal{A}_n + \sum_{i=1}^{i=N} \frac{1}{\mathcal{A}_n}} \left(1 + \sum_{i=1}^{i=n-1} \mathcal{H}_i \mathcal{A}_n + \sum_{i=1}^{i=n-1} \frac{1}{\mathcal{A}_n} \right); \quad (12)$$

$$\Theta_{nb}^4 = 1 - \frac{1 - \Theta_{c2}^4}{1 + \sum_{i=1}^{i=N} \mathcal{H}_i \mathcal{A}_n + \sum_{i=1}^{i=N} \frac{1}{\mathcal{A}_n}} \left(1 + \sum_{i=1}^{i=n} \mathcal{H}_i \mathcal{A}_n + \sum_{i=1}^{i=n-1} \frac{1}{\mathcal{A}_n} \right); \quad (13)$$

$$\mathcal{A}_n = (\Theta_{na} + \Theta_{nb})(\Theta_{na}^2 + \Theta_{nb}^2), \quad (14)$$

здесь N — число экранов в задаче;
 n — порядковый номер расчетного экрана;
 индексы a и b относятся соответственно к левой и правой поверхностям экранов.

Температурное поле по сечениям экранов в данной задаче может быть определено по известному уравнению прямой. Система уравнений (12) — (14) решается методом итераций. В качестве первого приближения значения Θ_{na} и Θ_{nb} выбираются в пределах от Θ_{c2} до 1. Процесс итераций в данном случае является быстроходящимся. Поэтому при технических расчетах достаточно ограничиться вторым приближением, что дает погрешность в определении температур не более 1%.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА МАССИВНЫХ
 ЭКРАНОВ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ И ОПЫТНЫМ ПУТЕМ

Контроль и оценка точности предлагаемых аналитических зависимостей для расчета распространения тепла в массивных

экранах, осуществлялась путем сопоставления результатов вычислений с данными численного интегрирования процесса (1) — (4) и опытными данными, полученными на экспериментальной установке.

Численное интегрирование задачи производилось с помощью метода конечных разностей, реализованным с помощью быстродействующих вычислительных машин Минск - I и ОДРА. При расчетах применялись следующие конечно-разностные уравнения:

1. Плоский экран

1) Расчетная точка лежит внутри объема n -го слоя

$$\Theta_{n,\tau_0 + \Delta\tau_0} = \Theta_{n,\tau_0} + \Delta\tau_0 N^2 (\Theta_{n-1,\tau_0} - 2\Theta_{n,\tau_0} + \Theta_{n+1,\tau_0}); \quad (15)$$

2) Расчетная точка лежит на внешней поверхности $X = 0$.

$$\Theta_{n,\tau_0 + \Delta\tau_0} = \Theta_{n,\tau_0} + 2\mathcal{H}_1 \Delta\tau_0 N (1 - \Theta_{n,\tau_0}^4) - 2\Delta\tau_0 N^2 (\Theta_{n,\tau_0} - \Theta_{n+1,\tau_0}); \quad (16)$$

3) Расчетная точка лежит на внешней поверхности $X = 1,0$

$$\Theta_{k,\tau_0 + \Delta\tau_0} = \Theta_{k,\tau_0} + 2\Delta\tau_0 N^2 (\Theta_{k-1,\tau_0} - \Theta_{k,\tau_0}) - 2\mathcal{H}_1 \Delta\tau_0 N (\Theta_{k,\tau_0}^4 - \Theta_{c2}^4) \quad (17)$$

2. Цилиндрический экран

1) Расчетная точка находится внутри объема n - го слоя

$$\Theta_{n, \tau_0 + \Delta \tau_0} = \Theta_{n, \tau_0} + \Delta \tau_0 N^2 \left\{ (\Theta_{n-1, \tau_0} - \Theta_{n, \tau_0}) \left[1 - \frac{1}{2 \left(\frac{N}{m-1} + n \right)} \right] - (\Theta_{n, \tau_0} - \Theta_{n+1, \tau_0}) \left[1 + \frac{1}{2 \left(\frac{N}{m-1} + n \right)} \right] \right\} \quad (18)$$

2) Расчетная точка находится на внешней поверхности $R = \frac{r_1}{\delta}$

$$\Theta_{n, \tau_0 + \Delta \tau_0} = \Theta_{n, \tau_0} + 2 \alpha_i \Delta \tau_0 \frac{N}{1 + \frac{m-1}{2N}} (1 - \Theta_{n, \tau_0}^4) - 2 \Delta \tau_0 N^2 (\Theta_{n, \tau_0} - \Theta_{n+1, \tau_0}); \quad (19)$$

3) Расчетная точка находится на внешней поверхности $R = \frac{r_2}{\delta}$

$$\Theta_{k, \tau_0 + \Delta \tau_0} = \Theta_{k, \tau_0} - 2 \alpha_e \Delta \tau_0 \frac{N}{1 - \frac{m-1}{2Nm}} (\Theta_{k, \tau_0}^4 - \Theta_{c2}^4) + 2 \Delta \tau_0 N^2 (\Theta_{k-1, \tau_0} - \Theta_{k, \tau_0}). \quad (20)$$

Для обеспечения устойчивости конечно-разностной схемы связь между шагом по времени ($\Delta \tau_0 = \frac{\alpha \Delta \tau^2}{\delta^2}$) и координате должна удовлетворять условию

$$0 < \Delta \tau_0 N^2 \leq 0.25 \quad (21)$$

Физическая модель процесса (1) ÷ (4) была дополнительно проверена с помощью метода гидравлических аналогий. Моде-

лирование задачи было выполнено на гидроинтеграторе ИГ-2 профессора Лукьянова В.С. Полученные данные хорошо согласуются с результатами численных расчетов на ЭВМ.

Кроме того, проверка предлагаемых расчетных соотношений для упорядоченной и стационарной стадии нагрева осуществлялась сравнением со значениями непосредственных замеров температур в опытных образцах. Опытные установки были выполнены в двух вариантах: для исследования прогрева плоских экранов и для исследования цилиндрических экранов. Основные элементы установок: нагреватель, холодильник (аналогичный горячего и холодного источников) и опытные образцы. Нагреватели соответственно выполнялись в виде плоской и цилиндрической печи. Холодильники первой и второй установки были выполнены в виде плоской и цилиндрической емкостей, в которых циркулировала охлаждающая вода. Основными элементами объекта экспериментального исследования были опытные образцы, которые были выполнены в виде плоских дисков и в виде полый массивной цилиндрической трубы. Они были изготовлены из керамики на Волгоградском керамическом заводе. Термические характеристики образцов были определены экспериментально: теплопроводность - методом неограниченного цилиндрического слоя; температуропроводность - методом регулярного режима. Основным объектом измерения в опытах явилось измерение температур: образцов, нагревателей и холодильников. Температура образцов измерялась в трех точках: на внешних поверхностях и в центре с помощью хромель-адмелевых термопар. Регистрация показаний термопар производилась на

диаграмной ленте автоматического потенциометра ЭП - 09. Большое внимание в опытах было уделено созданию одномерных тепловых потоков. Для чего опытные образцы выполнялись в виде неограниченных тел, а торцевые поверхности установок тщательно экранировались.

Сопоставление кривых изменения температур поверхностей образцов, полученных при обработке диаграммных лент потенциометра и методом аналитического расчета показало удовлетворительное согласование.

ВЫВОДЫ:

1. Массивная экранная изоляция широко применяется во многих отраслях промышленности. Существующие методы расчета массивного экранирования ограничиваются кругом линейных задач. Процесс распространения тепла в массивных экранах при лучистом теплообмене в настоящее время изучен недостаточно. Последнее объясняется математическими трудностями, связанными с нелинейностью граничных условий. Поэтому, получение аналитических зависимостей, позволяющих производить расчет конкретных практических задач, представляется весьма важным.

2. В результате теоретического исследования установлено, что при прогреве массивных экранов лучистым теплом, имеет место упорядоченный режим, который подчиняется вполне определенным закономерностям. Зависимости упорядоченного режима, полученные для массивных экранов плоской и цилиндрической формы, могут быть использованы для расчетов

процессов распространения тепла в упорядоченном режиме.

3. Получены аналитические соотношения для расчета установившегося состояния многократного экранирования в условиях лучистого теплообмена.

4. Созданы экспериментальные установки для исследования прогрева плоских и цилиндрических массивных экранов в стационарном и нестационарном состояниях.

5. Для оценки границ применимости аналитических методов использовались численный метод конечных разностей и метод гидро-анalogий. Аналитические зависимости, полученные в работе и результаты численного интегрирования исходных систем дифференциальных уравнений на ЭВМ, согласуются с результатами опытного исследования в пределах погрешности опыта.

6. Полученные в работе аналитические соотношения могут быть применимы как для расчета конкретных процессов нагрева массивных экранов в стационарном и нестационарном состояниях, так и при исследовании и отладке новых нагревательных элементов.

Принятые обозначения

$\Theta(x, \tau_0) = \frac{T(x, \tau_0)}{T_{c1}}$ - искомое температурное поле;

$\Theta_{c2} = \frac{T_{c2}}{T_{c1}}$ - относительная температура среды со стороны холодного источника;

T_{c1} - температура горячего источника излучения;

$X = \frac{x}{\delta}; R = \frac{r}{\delta}$ - безразмерные координаты в плоской и цилиндрической системах;

$$m = \frac{r_2}{r_1}$$

- отношение внешнего и внутреннего радиусов полого цилиндра;

γ

- коэффициент формы тела, равный в плоской системе 0, в цилиндрической - 1;

$$N_i = \frac{q_e \delta}{\lambda T_{с1}}$$

- радиационный критерий Кирпичева;

$$\alpha = \frac{\epsilon_{пр.2}}{\epsilon_{пр.1}}$$

- безразмерный симплекс, представляющий собой отношение приведенных степеней черноты со стороны холодного ($\epsilon_{пр.2}$) и горячего ($\epsilon_{пр.1}$) источников излучения;

$$Fo = \frac{\alpha \tau}{\delta^2}$$

- критерий Фурье;

J_0, Y_0

- функции Бесселя первого и второго рода.

Материалы диссертации докладывались на:

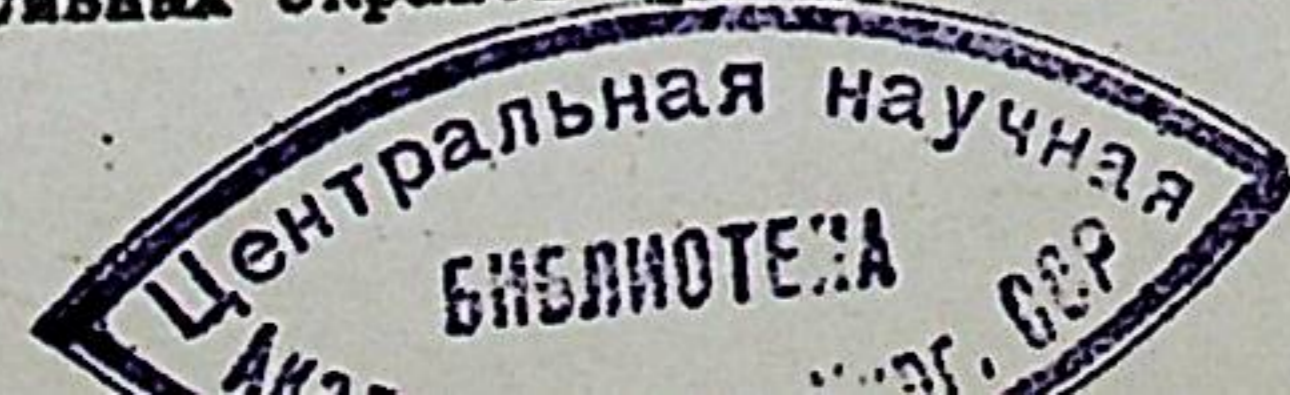
1. Заседании кафедры теоретической и общей теплотехники, 1970; Краснодар.

2. Общегородском семинаре по теоретическим основам теплотехники 1968, Волгоград.

3. Научно-технических конференциях института инженеров городского хозяйства 1969, 1970 г.г. Волгоград.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Л.А. Малышева. К расчету нестационарной теплопроводности массивных экранов при прогреве их лучистым теплом.



Сборник научных трудов по санитарной технике, выпуск 3. Нижне-Волжское книжное издательство, Волгоград, 1971.

2. Л.А. Малышева. Стационарная теплопередача от горячего источника к холодному через плоскую стенку при лучистом теплообмене. Сборник научных трудов по санитарной технике, выпуск 3. Нижне-Волжское книжное издательство, Волгоград, 1971.

3. Л.А. Малышева, Г.П. Бойков. Определение температуры "тонких" тел при их нагреве радиацией. Теплофизика высоких температур. № 6, Москва, 1968.

4. Л.А. Малышева, Г.П. Бойков. Упорядоченный тепловой режим в плоском массивном экране, прогреваемом лучистым теплом. Сборник научных трудов по санитарной технике, выпуск 4, Нижне-Волжское книжное издательство Волгоград, 1972.

5. Л.А. Малышева, Г.П. Бойков. Экспериментальное исследование нагрева массивных экранов лучистым теплом. Сборник научных трудов по санитарной технике, выпуск 4. Нижне-Волжское книжное издательство, Волгоград, 1972.