

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ НЕОДНОРОДНОГО ХАРАКТЕРА ТЕПЛООБМЕНА ВНУТРИ ЗДАНИЯ

Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет

## ВВЕДЕНИЕ

Федеральным законом «Об энергосбережении» (1998 г.) предусматриваются мероприятия по поэтапному увеличению термических сопротивлений ограждающих конструкций в 3 - 3,5 раза. Решение такой задачи невозможно только эмпирическим путем без создания математических моделей, описывающих пространственный теплоперенос в областях, ограниченных ограждающими конструкциями. До настоящего времени задачи такого типа не решались. Известны только решения задач одномерного нестационарного теплопереноса в ограждающих конструкциях [1, 2].

Целью настоящей работы является численное моделирование температурных полей в области, включающей ограждающие конструкции и защищаемое помещение с учетом локально сосредоточенных источников тепловыделения и смешанного теплообмена с внешней средой.

Физическая модель. Рассматривается пространственная задача теплопроводности для области в форме параллелепипеда (рис. 1.). На одной из граней задаются граничные условия третьего рода, учитывающие и радиационный теплообмен с внешней средой, на пяти других гранях – условия симметрии. Область разделяется на подобласти с различными теплофизическими характеристиками, соответствующими ограждающим конструкциям здания и защищаемому от охлаждения помещению. На границе между двумя подобластями находятся локально сосредоточенные источники тепловыделения (батареи). Полную аналогию рассматриваемой области решения с реальным помещением дает наличие участка прозрачного для теплового излучения. Данный участок представляет собой окно, состоящее из двух стекол.

При постановке задачи приняты два основных допущения.

1. Теплофизические параметры считаются постоянными.

2. Рассматривается теплоперенос только за счет кондукции.

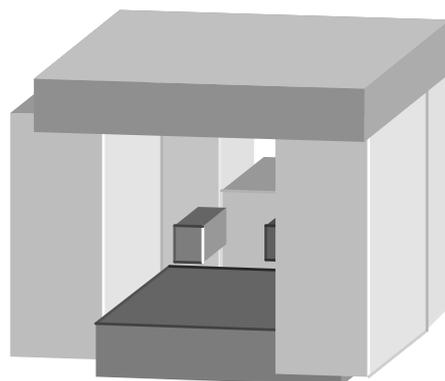


Рис. 1. Область решения рассматриваемой задачи

Математическая модель. Распределение тепла в рассматриваемой области описывается уравнением теплопроводности [3].

$$\rho_i c_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \lambda_i \left( \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2} \right),$$

где  $i = \overline{1,5}$ ,

$$T = T(t, x, y, z)$$

$i = 1$  – кирпичная стена;

$i = 2$  – воздух;

$i = 3$  – стеклянное окно;

$i = 4$  – деревянный пол;

$i = 5$  – бетонная плита;

Начальные и граничные условия для сформулированной задачи имеют следующий вид:

1. начальное условие:

$$T(t, x, y, z)|_{t=0} = T_0 = const.$$

2. граничные условия:

На грани, разделяющей внешнюю среду и рассматриваемый объем

$$-\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial y} = \alpha(T_e - T_i) + \varepsilon \sigma(T_e^4 - T_i^4),$$

На всех участках области решение, где происходит сопряжение материалов с раз-

личными теплофизическими параметрами, заданы условия 4 рода

$$T_i = T_j \quad i = \overline{1,5}$$

$$-\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial x^k} = -\lambda_j \frac{\partial T_j}{\partial x^k}, \text{ где } j = \overline{1,5}$$

$$k = \overline{1,3}$$

На всех внешних границах рассматриваемого объема кроме грани, имеющей теплообмен с внешней средой, заданы условия симметрии

$$-\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial x^k} = 0 \quad i = \overline{1,5}$$

$$k = \overline{1,3}$$

На локально сосредоточенных источниках тепловыделения заданы условия 1 рода

$$T = T_{bat} = const.$$

#### МЕТОД РЕШЕНИЯ

Задача решалась конечно-разностным методом. Сформулированная система дифференциальных уравнений с соответствующими граничными и начальными условиями решена методом конечных разностей [4]. Для решения разностных аналогов двумерных нелинейных уравнений использовался локально-одномерный метод в сочетании с методом итераций. Одномерные разностные уравнения решены методом прогонки с использованием неявной четырехточечной разностной схемы.

#### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

Численный анализ проведен с использованием теплофизических характеристик для кирпича, воздуха, стекла, дерева и бетона, приведенных в [5]. Коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , приведенная степень черноты  $\varepsilon = 0.3$ , температура внешней среды  $T_e = 273 \text{ К}$ , начальная температура рассматриваемого объекта  $T_0 = 293 \text{ К}$ , температура на источниках тепловыделения  $T_{bat} = 333 \text{ К}$ . Длина комнаты – 5 м; ширина комнаты – 4 м; высота комнаты – 3 м; толщины стен – 0,3 м. Длина окна – 2 м; высота окна – 1,5 м; толщина стекла – 0,005 м; расстояние между стеклами – 0,1 м. Длина батареи – 0,5 м; толщина батареи – 0,1 м; высота батареи – 0,6 м. Толщина пола – 0,2 м; расстояние от пола до батареи – 0,2 м; расстояние от батареи до окна – 0,2 м; расстояние от окна до потолка – 0,5 м; толщина потолка – 0,2 м. Расстояние от боковой стены до окна – 1,5 м; расстояние от боковой стены до первой батареи и от второй батареи до стены – 0,5 м.

На рис. 2-7 приведены распределения температур по сечениям области решения. Все сечения рассматривались в плоскостях  $z = const$ .

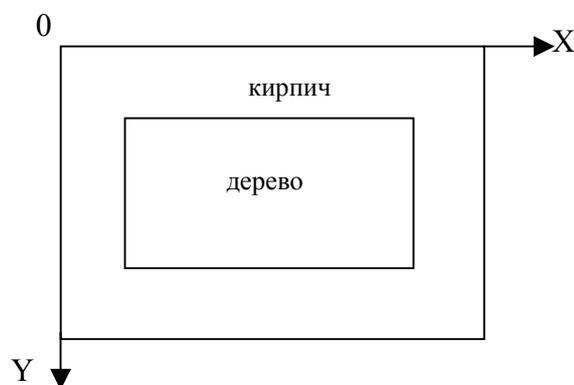


Рис. 2. Сечение области решения плоскостью:  $z = 0,1 \text{ м}$

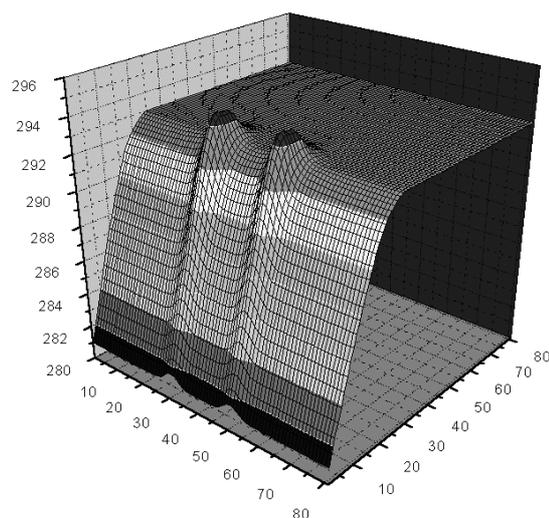


Рис. 3. Распределение температуры в сечении:  $z = 0,1 \text{ м}$  в момент времени  $t = 32400 \text{ с}$

Из анализа рис. 3 видно по характерным максимумам, что источники тепловыделения (батареи) оказывают влияние на температурное поле даже деревянного пола.

Перепад температур при этом относительно мал и составляет 2-3 градуса. Можно отметить, что рассматриваемый промежуток изменения времени (9 часов) соответствует выходу теплового состояния рассматриваемой области на режим, близкий к стационарному, но изменение температур во времени по сравнению с начальными значениями еще продолжается. При этом перепад температур между внешней средой и поверхностью де-

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ НЕОДНОРОДНОГО ХАРАКТЕРА ТЕПЛООБМЕНА ВНУТРИ ЗДАНИЯ

ревянного пола составляет около 20 К. Рассматриваемые результаты получены для условий отопительного сезона поздней осени (температура внешней среды составляет 0°C). При уменьшении температуры внешней среды картина температурных распределений соответствующим образом меняется.

На рис. 5 показано температурное поле в сечении  $z = 0,7$  м, соответствующем рис. 4.

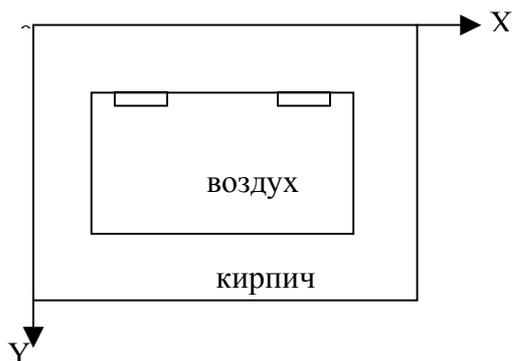


Рис. 4. Сечение области решения плоскостью:  $z = 0,7$  м

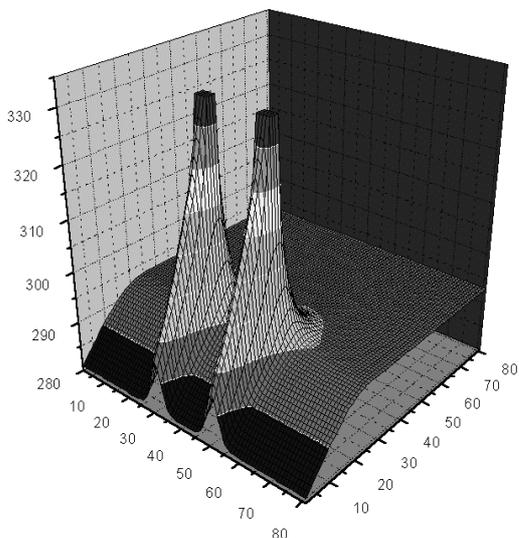


Рис. 5. Распределение температуры в сечении:  $z = 0,7$  м в момент времени  $t = 32400$  с

На рис. 5 приведено температурное поле в сечении, проходящем через батареи. На этом рисунке хорошо видны зоны, соответствующие батареям. Также видно, что область, непосредственного влияния батарей относительно невелика по размерам. Изменения температуры в области вблизи стены, противоположной батареям, по отношению к начальным значениям относительно невелики и составляют доли градуса. Можно сказать, что батареи играют роль своеобразных теплоизоляторов, защищающих большую часть

комнаты от охлаждения за счет теплоотвода в холодную стену.

На рис. 7 показано температурное поле в сечении  $z = 1,95$  м, соответствующем рис. 6. Хорошо видно, что на этой высоте роль источников тепловыделения проявляется не так отчетливо, как на рис. 5. Отклонение средних температур от максимальных составляет всего 2-3 К.

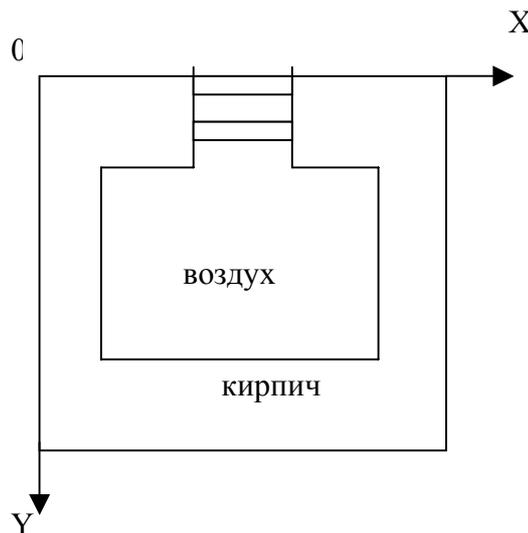


Рис. 6. Сечение области решения плоскостью:  $z = 1,95$  в метрах

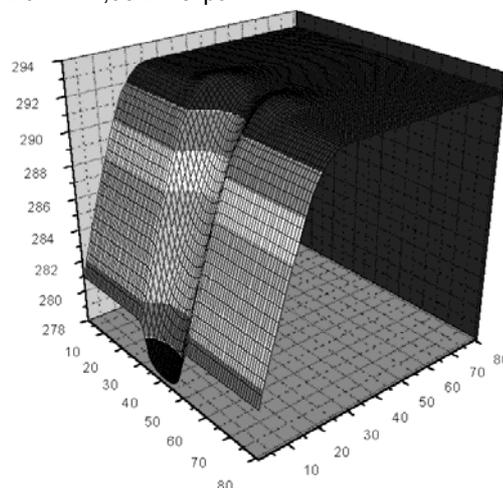


Рис. 7. Распределение температуры в сечении:  $z = 1,95$  м в момент времени  $t = 32400$  с

На рис. 7 показано температурное поле в сечении, проходящем через окно. Температурное поле, в данном случае, определяется влиянием окна, а действие батарей уже не оказывает существенного влияния на распределение температуры.

Полученные результаты можно рассматривать как первое приближение в решении задачи о пространственном температурном

поле замкнутого объема с локальными источниками тепловыделения и охлаждением через одну грань в условиях неоднородного теплообмена на границе. Дальнейшее уточнение полученных результатов возможно путем учета механизма естественной конвекции.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных численных исследований можно сделать вывод о том, что температурное поле в рассматриваемом типичном по конфигурации объеме существенно неоднородно. Эта неоднородность наиболее существенно проявляется в окрестности локальных источников тепловыделения и зоны наиболее интенсивного теплоотвода в окружающую среду (окно).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.В., Карасева Л.В., Тихомиров С.А. Моделирование процессов теплопереноса в многослойных ограждающих конструкциях // Труды третьей Российской национальной конференции по теплообмену. В 8 томах. Т.7. М.: Изд-во МЭИ, 2002 г. – с. 131-134.
2. Матюхов Д.В., Низовцев М.И., Терехов В.И., Терехов В.В. Определение теплозащитных характеристик теплоинерционных конструкций в условиях нестационарного теплообмена // Труды третьей Российской национальной конференции по теплообмену. В 8 томах. Т.7. М.: Изд-во МЭИ, 2002 г. – С. 184-187.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.- 600 с.
4. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы.
5. Енохович А.С. Краткий справочник по физике. – М.: Высшая школа, 1976. – 288с.