

**МИНИСТЕРСТВО РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**САМАРКАНДСКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*На правах рукописи  
УДК: 004.93'1*

**МУРОДОВ ФАРРУХ**

**Моделирование процессов теплопроводности  
С внешними источниками**

**5А330501 – Компьютер инжиниринг**

**(“Проектирование компьютерных систем”)**

**Магистерская диссертация написана для получения академической  
степени магистра**

**Научный руководитель:  
к.ф.-м.н., доц. Абдукаримов А.**

**Самарканд – 2016**

**Министерство Высшего и среднего специального образования  
Республики Узбекистан**

**Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных  
технологий**

Факультет: Компьютер инжиниринг	Магистрант: Муродов Ф.
Кафедра: Компьютерные системы	Научный руководитель : Доц. Абдукаримов А.
Учебный год: 2014-2016	Специальность: 5А330501 – Компьютер инжиниринг ("Проектирование компьютерных систем")

**АННОТАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

**Актуальность темы.** Инженеры, ученые и специалисты в области физических наук в настоящее время широко используют численный эксперимент, основанный на приближенном решении уравнений, описывающих физическую задачу. Такой подход к решению физических задач получил широкое развитие с появлением мощных вычислительных машин, которые могли решать инженерные задачи, требующие хранения большого количества данных и проведения значительного объема вычислений. Метод граничных элементов сравнительно новое направление, основан на гранично-интегральных уравнениях, позволяет решать современные проблемы физико-математического моделирования. В настоящее время наблюдается интенсивное развитие метода граничных элементов и применение его для приближенных решений различных задач в области теории потенциала, теплопроводности, теории упругости, механики жидкости, вязкопластичности и т. п.

**Цель работы.** Разработка численной модели, создание алгоритма и программного средства для решения начально-краевой задачи для процессов теплопроводности с внешними источниками на основе метода граничных элементов.

**Объекты и предметы исследования:** Объектом разработки является алгоритм и программа расчета начально-граничной задачи для уравнения теплопроводности методом граничных элементов, которая позволит решать указанные задачи более эффективно, чем другие численные методы.

**Методы и способы исследования:** системный анализ, системное моделирование, численные методы решения дифференциальных уравнений, создание алгоритма и блок схемы решения задач; эксперимент; тестирование.

**Научная новизна работы:** Научная новизна работы состоит в следующем:

- проведя анализ предметной области спроектированы модули программного обеспечения решения начально-краевой задачи уравнения теплопроводности;

- созданы алгоритмы и блок схемы решения начально-краевой задачи уравнения теплопроводности;

- разработан и реализован алгоритм решения начально-краевой задачи уравнения теплопроводности и проведены тестовые задачи.

**Практическая значимость работы:** результаты работы могут быть применены в программном обеспечении реализации гранта А5-068 «Математическое моделирование задачи колебаний многомерных упругих тел и двумерных задач динамической теории упругости».

**Структура и объем диссертационной работы:** Магистерская диссертация состоит из введения, 3-х глав и заключения, изложенных на 70 страницах машинописного текста. Содержит список использованной литературы из 21 наименований и приложения.

В первой главе даны основные понятия и определения, основные задачи, возникающие при разработке модели процессов теплопроводности с внешними источниками.

Вторая глава посвящена постановке задачи и цели исследования, основным подходам, методам и задачам моделирования процессов теплопроводности с внешними источниками.

В третьей главе приведены формирования алгоритма и программы расчета начально-граничной задачи для уравнения теплопроводности.

**Основные результаты.** Разработаны и реализованы алгоритм решения начально-краевой задачи уравнения теплопроводности методом граничных элементов. При этом решается как однородная так и неоднородная начально-краевая задача для уравнения теплопроводности.

**Обобщенные заключение и выводы.** Показано, что эффективность работы программы зависит от выбора метода решения задачи. При решении задачи методом граничных элементов программа работает экономично и тратит наименьшее машинное время.

## СОДЕРЖАНИЕ

	<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>Глава I</b>	<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ</b>	<b>9</b>
	<b>1.1.</b> Важность изучения процессов теплопроводности .....	<b>9</b>
	<b>1.2.</b> Теплопроводность в средах.....	<b>14</b>
	<b>1.3.</b> Математическая модель – основа теоретического изучения физических процессов.....	<b>23</b>
	<b>Заключение по главе 1.....</b>	<b>34</b>
<b>Глава II</b>	<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ВНЕШНИМИ ИСТОЧНИКАМИ</b>	<b>35</b>
	<b>2.1.</b> Линейные задачи теплопроводности.....	<b>35</b>
	<b>2.2.</b> Численные методы решения начально-краевых задач для уравнения теплопроводности.....	<b>44</b>
	<b>2.3.</b> Метод граничных элементов для решения начально-краевых задач уравнения теплопроводности.....	<b>52</b>
	<b>Заключение по главе 2.....</b>	<b>55</b>
<b>Глава III</b>	<b>ФОРМИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА НАЧАЛЬНО-ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ.</b>	<b>56</b>
	<b>3.1.</b> Описание программного обеспечения .....	<b>56</b>
	<b>3.2.</b> Порядок использования программного обеспечения .....	<b>75</b>
	<b>3.3.</b> Тестирование программы и анализ результатов.....	<b>77</b>
	<b>Заключение по главе 3.....</b>	<b>78</b>
	Обеспечение безопасности жизнедеятельности при работе на компьютере	79
	<b>Заключение.....</b>	<b>88</b>
	<b>Литература.....</b>	<b>90</b>
	<b>Приложение.....</b>	<b>92</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В XXI веке глубоко возрастает роль знаний, информации в общественном развитии. Мы являемся свидетелями становления информационного общества, информационной цивилизации. Указом Президента Республики Узбекистан от 30 мая 2002 г. N УП-3080 "О дальнейшем развитии компьютеризации и внедрении информационно-коммуникационных технологий" министерствами и ведомствами, общественными объединениями Узбекистана проводится целенаправленная работа по развитию информационно-коммуникационных технологий и услуг в сфере образования, духовно-нравственного воспитания молодежи. В связи с чем, задача подготовки высокопрофессиональных кадров, способных развивать новые информационные технологии и эффективно использовать их на практике становится стратегически важной для прогресса нашего общества [1].

**Актуальность темы:** Изучение процессов теплообмена всегда играло видную роль в развитии техники и естествознания. За последние десятилетия сфера интенсивного исследования и применения явлений теплообмена чрезвычайно расширилась. Она включает как ведущие направления техники (химическая технология, металлургия, строительное дело, нефтеразработка, машиностроение и т.д.), так и основные естественные науки (биология, геология, физика, физика атмосферы и океана и другие). Теоретическое исследование процессов теплообмена в настоящее время в значительной степени базируется на их численном моделировании с использованием компьютеров. Это стало возможным благодаря значительному прогрессу в развитии вычислительных методов решения задач для уравнений в частных производных и увеличению мощности современных вычислительных машин.

**Цель работы:** главной целью диссертационной работы является разработка численного моделирования процессов теплопроводности с внешними источниками и решение соответствующих задач на основе метода гра-

ничных элементов. Исходя из этого, мы поставили цель создать программное обеспечение численного решения неоднородного уравнения теплопроводности методом граничных элементов. Сравнить полученное решение с решениями полученными методами с помощью визуализации.

**Методы исследования.** Для достижения поставленной цели используются методы системного анализа, вычислительной математики, дифференциальных уравнений с частными производными, методы алгоритмизации и программирования.

**Новизна работы.** Научная новизна работы состоит в следующем:

- проведя анализ предметной области спроектированы модули программного обеспечения решения начально-краевой задачи уравнения теплопроводности;

- созданы алгоритмы и блок схемы решения начально-краевой задачи уравнения теплопроводности;

- разработан и реализован алгоритм решения начально-краевой задачи уравнения теплопроводности и проведены тестовые задачи.

**Обоснованность полученных основных результатов.** При создании модели процессов теплопроводности с внешними источниками и ее численной реализации с помощью метода граничных элементов использовались возможности языка C++, литературой по предметам «Математическое моделирование», «Численные методы» и компьютерные технологии. Полученные результаты основаны на вышеназванных материалах.

**Научная новизна и эффективность результатов.** Результаты диссертационной работы могут быть использованы в процессе одномерного распределения тепла в области, который входит в круг задач прикладного гранта А5-068 «Математическое моделирование задачи колебаний многомерных упругих тел и двумерных задач теории упругости» а также программные продукты могут быть применены в обучении при преподавании

предметов “Численные методы”, “Системное моделирование и основы проектирования”.

**Структура и объем диссертационной работы:** Данная диссертационная работа состоит из 102 страниц, включающих в себя введение, три главы, заключение и приложения 1-2, включающего в себя процесс работы и код программ отображающая процесс теплопроводности в стержне являющегося основной выполненной выпускной квалификационной работы.

Глава 1. Математическое и компьютерное моделирование при изучении физических процессов теплопроводности. В этой главе объясняются основные понятия и термины, используемые в данной магистерской работе. Важность изучения процессов теплопроводности, его история развития и построение математической модели процесса распространения тепла в среде.

Глава 2. Моделирование процессов теплопроводности с внешними источниками. Здесь рассмотрены линейные задачи теплопроводности, методы их численного решения. Особенное внимание уделяется методу граничных элементов для решения начально-краевых задач уравнения теплопроводности.

Глава 3. Формирование алгоритма и программы расчета начально-граничной задачи для уравнения теплопроводности. Эта часть посвящена разработке программного обеспечения численного решения уравнения теплопроводности. Приводится порядок использования программного обеспечения.

В приложениях дано короткое описание магистерской работы и листинг программы.

## Список опубликованных статей

По результатом магистерской диссертации опубликованы 4 статьи:

№	Авторы	Название статьи	Число Стр.	Издательство, № , год и стр.
1	Abdukarimov A., Normurodov T., Murodov F.	Bir jinsli, bir o'lchamli issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini sonli yechish uchun chegaraviy elementlar usuli.	3	Respublika ilmiy-texnik konferensiyasi materiallari to'plami: "Zamonaviy fan va texnika rivojida axborot va telekommunikasiya texnologiyalarini ong o'rni", Samarqand, 11 sentyabr 2015 y., 133-135 str.
2	Абдукаримов А., Муродов Ф.	Моделирование процессов теплопроводности с внешними источниками.	4	В сб. материалов XI научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Самаркандского филиала ТУИТ «Современные информационно-коммуникационные технологии» 2016 г. 28-30 апреля 90-94 стр.
3	Абдукаримов А., Муродов Ф.	Численное решение задачи Коши для уравнения Лапласа методом функции Карлемана.	5	Материалы XI международная молодежная научно-практическая конференция «Научные исследования и разработки молодых ученых», Новосибирск 10 июня 2016 г.

# ГЛАВА I. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

## 1.1. Важность изучения процессов теплопроводности

Изучение процессов теплообмена всегда играло видную роль в развитии техники и естествознания. В конце позапрошлого и в начале прошлого веков исследования в этой области стимулировались главным образом потребностями возникшей в то время теплоэнергетики. В годы после второй мировой войны развитие авиации, атомной энергетики, ракетно-космической техники выдвинуло новые постановки задач теплообмена и вместе с тем - новые, более жесткие требования к полноте и надежности прогностических возможностей теории.

За последние десятилетия сфера интенсивного исследования и применения явлений теплообмена чрезвычайно расширилась. Она включает как ведущие направления техники (химическая технология, металлургия, строительное дело, нефтеразработка, машиностроение, агротехника и т.д.), так и основные естественные науки (биология, геология, физика атмосферы и океана и другие). Теоретическое исследование процессов теплообмена в настоящее время в значительной степени базируется на их численном моделировании с использованием компьютеров. Это стало возможным благодаря значительному прогрессу в развитии вычислительных методов решения задач для уравнений в частных производных и увеличению мощности современных вычислительных машин.

Нужно особо отметить еще следующие обстоятельства. Численное моделирование процессов теплообмена в настоящее время приобретает все более значительную роль в связи с тем, что для современной науки и техники необходим достоверный прогноз таких процессов, экспериментальное изучение которых в лабораторных или натуральных условиях очень сложно и доро-

го, а в некоторых случаях просто невозможно. Численное моделирование процессов теплопереноса все успешнее входит в практику работы различных научно-исследовательских, проектно-конструкторских и производственных учреждений.

Как известно, существуют три механизма передачи тепла: теплопроводность, конвекция и излучение. В настоящей работе мы сконцентрируем внимание на основном механизме переноса тепла - теплопроводности.

Теплопроводностью называется молекулярный перенос теплоты в сплошной среде. Этот процесс возникает при неравномерном распределении температур. В этом случае теплота передается за счет непосредственного соприкосновения частиц, имеющих различную температуру, что приводит к обмену энергией между молекулами, атомами или свободными электронами.

Теплопроводность зависит от агрегатного состояния вещества, его состава, чистоты, температуры, давления и других характеристик. Так, в большинстве случаев теплопроводность вещества в жидком состоянии примерно в 10 раз больше, чем теплопроводность в газообразном состоянии. Для твердого тела она значительно выше, чем для жидкости около точки плавления (за исключением жидких висмута, олова, теллура).

На практике часто случается, что теплопроводность внутри тела и вблизи его границ различна. Это различие обусловлено как изменением условий протекания процессов теплопереноса, так и изменением структуры вещества (в результате термообработки, наклепа, старения, износа и т.д.).

Существенное влияние на теплопроводность могут оказывать внешние факторы, например облучение, изменение давления, магнитное поле.

В полупрозрачных средах теплопроводность сопровождается радиационным теплопереносом. Наблюдаемая эффективная теплопроводность таких сред есть сумма собственно теплопроводности и радиационного теплопереноса. Вклад радиационной составляющей комбинированного теплопереноса увеличивается с повышением температуры и становится суще-

ственным при температурах, составляющих несколько сотен градусов Цельсия.

Нестационарный перенос тепла теплопроводностью описывается следующим уравнением, записанным в декартовой системе координат:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q_w(x, y, z, t, T) \quad (1.1)$$

Это уравнение (уравнение Фурье - Кирхгофа) устанавливает связь между временным и пространственным изменением температуры в любой точке тела. Здесь  $\rho$  - плотность,  $c$  - удельная теплоемкость,  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности,  $Q_w(x, y, z, t, T)$  - мощность внешних источников тепловыделения.

Уравнение (1.1) описывает множество вариантов развития процесса кондуктивного теплопереноса (теплопроводности). Чтобы из бесчисленного количества этих вариантов выбрать один и дать его полное математическое описание, к соотношению (1.1) необходимо добавить условия однозначности, которые содержат геометрические, физические, начальные и граничные условия.

Геометрические условия определяют форму и размеры тела, в котором протекает изучаемый процесс. Физические условия определяют теплофизические характеристики тела  $X, \rho, c$ . Временные (начальные) условия содержат распределение температуры в теле в начальный момент времени:

$$t = 0: T = f(x, y, z) - \text{в общем виде.}$$

При равномерном распределении температуры в теле начальное условие упрощается:  $t = 0: T = T_0 = \text{const}$ . Граничные условия определяют особенности протекания процесса на поверхности тела и могут быть заданы несколькими способами.

- Граничные условия первого рода - задается распределение температуры на поверхности (или границе) тела для каждого момента времени:

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

где  $T_w$  - температура на поверхности тела. Во многих практически значимых вариантах  $T_w = \text{const}$ .

- Граничные условия второго рода - задается значение теплового потока для каждой точки поверхности (или границы) тела в любой момент времени:

$$-\lambda \left( \frac{\partial T}{\partial \bar{n}} \right)_w = q_w(x, y, z, t),$$

где  $\bar{n}$  - нормаль к поверхности тела. Наиболее часто используется условие  $q_w = \text{const}$ .

Такой вариант теплообмена имеет место, например, при нагревании различных изделий в высокотемпературных печах.

- Граничные условия третьего рода - задается взаимосвязь между потоком тепла за счет теплопроводности от твердой стенки и тепловым потоком из окружающей среды за счет температурного напора (закон Ньютона - Рихмана):

$$-\lambda \left( \frac{\partial T}{\partial \bar{n}} \right)_w = \alpha (T_w - T^e),$$

где  $\alpha$  - коэффициент теплообмена. Это наиболее широко применяемое условие в задачах теплотехники.

- Граничные условия четвертого рода - для определения теплового взаимодействия между элементами, имеющими различные теплофизические характеристики, задают условия равенства температур и тепловых потоков по обе стороны от границы раздела:

$$\begin{cases} -\lambda_1 \left( \frac{\partial T_1}{\partial \bar{n}} \right)_\Gamma = -\lambda_2 \left( \frac{\partial T_2}{\partial \bar{n}} \right)_\Gamma ; \\ T_1(x_\Gamma, x_\Gamma, x_\Gamma, t) = T_2(x_\Gamma, x_\Gamma, x_\Gamma, t) \end{cases}$$

где  $(x_\Gamma, x_\Gamma, x_\Gamma, t)$  - координаты границы раздела сред;  $T_1, T_2$  - температуры соприкасающихся сред. Это условие применяется, например, при решении задач теплопроводности для многослойных пластин.

Дифференциальное уравнение (1) вместе с условиями однозначности дает полную математическую формулировку краевой задачи теплопроводности. При решении конкретных краевых задач нестационарной теплопроводности можно, применяя методы математического моделирования, добиться существенного упрощения общей математической постановки. Так, если для рассматриваемого процесса:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \gg \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \gg \frac{\partial^2 T}{\partial z^2},$$

то можно вместо уравнения (1) ограничиться одномерным нестационарным уравнением кондуктивного теплопереноса

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + Q_w(x, t, T), \quad (1.2)$$

которое вместе с условиями однозначности дает более простую математическую формулировку краевой задачи. Есть много практически значимых случаев, когда решение уравнения (1.2) достаточно для полного описания рассматриваемого процесса.

В практике теплотехнических расчетов часто возникают одномерные задачи с цилиндрической или сферической симметрией. Например, цилиндрическая симметрия имеется в задачах об остывании длинного цилиндра или при анализе теплового состояния в трубчатых каналах.

Естественной системой координат в таких задачах является, соответственно, цилиндрическая  $(r, \varphi)$  или сферическая  $(r, \theta, \varphi)$ . Вследствие одномерности все величины не будут зависеть от углов  $\theta, \varphi$ . Тогда параболическое уравнение (1.2) с переменными коэффициентами в соответствующих координатах примет вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda r^v \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Q_w(x, t, T)$$

где  $r$  - радиальная координата,  $v$  - показатель симметрии, равный 0, 1, 2 соответственно для плоского, цилиндрического и сферического случаев.

## 1.2. Теплопроводность в средах

Явление перехода тепла от поверхности тела с высокой температуры на тело с низкой температурой называется теплопроводностью. В соответствии со вторым законом термодинамики это событие происходит само собой то есть тепло переходит от нагретого тела к более холодному объекту. Вектор теплового потока направляется из  $T_2$  к  $T_1$ ,  $T_2 > T_1$ . Тепло распространяется на всех видах окружающей среды (жидкое, твердое, газ, вакуум). В результате теплое тело охлаждается, холодное тело нагревается. Это явление называется теплообменом. Так что во всех телах тепло передается в виде энергии за счет движения частиц. Это явление называется теплопроводность. Теплопроводность переносится на среду при разнице температур между объектами. Считается, что при такой теплопроводности тепло переносится частицами и молекулами. Внутри тела агента теплопроводности между частями тела в взаимном контакте между горячим и холодным телами должны двигаться частицы и молекулы.

Количество передаваемого тепла, будет зависеть от размера и температуры поверхности контакта. Это количество называется мощностью потока теплоемкости и измеряется в единицы системы СИ Дж/с, то есть измеряется на  $V/t$ .

Поверхность у которого во всех точках температура одинаково ( $T = \text{Const}$ ), называется изотермической поверхностью. В изотермических поверхностях векторное поле температуры направлено перпендикулярно к поверхности. Наиболее существенное изменение температуры наблюдается в нормальных (по вертикали) направлениях. Отношение изменения температура направленного по нормали на изотермическую поверхность на разность расстояния  $\Delta n$  называется градиентом температуры,

$$\lim \frac{\Delta T}{\Delta n} = \frac{dT}{dT} = \text{grad}T \quad (1.3)$$

На основании закона французского ученого Фурье при теплопроводности вектор плотности теплового потока пропорционален вектору градиента температуры:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad}T \quad (1.4)$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности тела;

Коэффициент  $\lambda$  - представляет собой свойства теплопроводности веществ, знак "минус" в уравнении означает что направления векторов потока тепла и градиента температуры противоположны, то есть указывает, направление наиболее снижения температуры. Плотность теплового потока  $q_n$  равна произведению произвольного вектора  $q$  на косинус угла между вектором  $q$  нормали:

$$q_n = q \cdot \cos\varphi = -\lambda \cdot \text{grad}T \cdot \cos\varphi \quad (1.5)$$

Как известно,  $\text{grad}T \cos\varphi = \frac{dT}{dn}$  на основании этого можно написать:

$$q_n = -\lambda \left( \frac{dT}{dn} \right) \quad (1.6)$$

Тепловой поток, проходящий через элементарную площадь  $dS$ , в направлении перпендикулярном к поверхности будет равна:

$$\Delta q_n = q_n \cdot \Delta S = -\lambda \left( \frac{dT}{dn} \right) dS \quad (1.7)$$

Интегрируя это выражение можно определить полный поток тепла проходящий через поверхность  $S$ :

$$q = \int_s \Delta q_n = - \int_s \lambda \left( \frac{dT}{dn} \right) dS \quad (1.8)$$

Теплопроводность различных веществ и, в свою очередь, их коэффициент теплопроводности  $\lambda$  принимает различные значения.

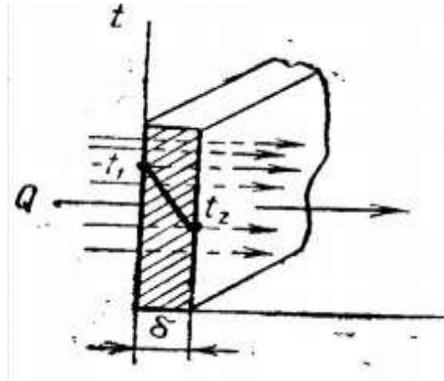


Рисунок 1.1. Плоская однослойная стена.

Найти плотность потока тепла в области одномерного поля, а градиент температуры равен  $K / M$ .

$$(6 \cdot 10^{-3} \infty 410 \frac{Vt}{\mu K}) \quad (1.9)$$

через стенки и определяют характер изменения температуры в толщине стенки.

В стенке выделим элементарный слой толщины  $d$  ограниченный двумя изотермическими поверхностями. Для этого слоя уравнение Фурье заключается в следующем:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (1.10)$$

Из этого уравнения найдем:

$$dt = -\frac{q}{\lambda} dx \quad (1.11)$$

Интегрируя это уравнение

$$t = -\frac{q}{\lambda} x + C \quad (1.12)$$

Постоянная интегрирования  $C$  определяется граничными условиями: при  $x = 0$  получим  $C = t_1$  поэтому уравнение примет вид:

$$t = -\frac{q}{\lambda} x + t_1 \quad (1.13)$$

Из этого уравнения можно определить плотность потока тепла через стену. Если в уравнение поставить значение  $x = \delta$  получим  $t_1 = t_2$ , отсюда

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2) = \frac{\lambda}{\delta}\Delta t \quad (1.14)$$

В плоской стенке плотность потока тепла прямо пропорционально коэффициенту теплопроводности  $\lambda$  и разности температур ( $t_1 = t_2$ ) и обратно пропорциональна толщине стенки  $\delta$ . Следует иметь в виду, что тепловой поток не определяется абсолютным значением температуры, а определяется их разностью  $t_1 - t_2 = \Delta t$ . Он связывает четыре величины:  $q$ ,  $\lambda$ ,  $\delta$  и  $\Delta t$  :

$$\lambda = \frac{q\delta}{\Delta t}; \Delta t = \frac{q\delta}{\lambda}; \delta = \frac{\lambda\Delta t}{q} \quad (1.15)$$

Значение любой величины можно найти, если известны значения трех остальных величин. Отношение  $\lambda/\delta$  называется теплопроводностью стенки и измеряется в  $[W/(m^2 \cdot grad)]$ .

Если написать это равенство в другом виде, то получим следующее:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\delta/\lambda} \quad (1.16)$$

Отношение толщины стенки на коэффициент теплопроводности  $\lambda/\delta$  называется термическим сопротивлением стенки.

Как видно из равенства относительный тепловой поток, пропорционален разности температур и обратно пропорционален термическому сопротивлению стены  $\delta/\lambda$ . В самом деле, чем больше знаменатель дроби этого уравнения, плотность теплового потока  $q$  настолько мала. Так, с увеличением толщины стенки  $\delta$  или уменьшения теплопроводности уменьшает плотность теплового потока  $q$ .

Из формулы можно найти значение плотности теплового потока затем подставляя его в следующую формулу найти общее количество тепла  $Q$ , проходящий через плоскую поверхность стены в течении 1 сек выражающейся в Дж:

$$Q = qF\tau = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t F \tau \quad (1.17)$$

Если подставить значение величины  $q$  в формулу (1.15), то найдем уравнение кривой температуры:

$$t = t_1 - \frac{(t_1 - t_2)x}{\delta} \quad (1.18)$$

На практике очень важно изучать процесс теплопроводности стенки состоящей из нескольких плоских слоев, изготовленных из разных материалов. Выше приведенное уравнения называется уравнение прямой линии. Из него следует, что при постоянном значении коэффициента теплопроводности температура однородной стены изменяется линейно по толщине стены. Когда коэффициент теплопроводности зависит от температуры, он становится переменной и формула для вычисления становится более сложным.

Процесс передачи тепла через плоскую стенку является важным. Например, с внешней стороны паровые котлы покрыты шлаками, с внутренней части металлическая стенка покрыта осадками, в результате получается трехслойная стенка.

Рассмотрим процесс передачи тепла через плоский стенку с трехслойной теплопроводностью. Все три слоя расположены плотно между собой и имеют толщины  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  стенки слоев, каждый из которых имеет соответствующий коэффициент  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  теплопроводности материала.

Также известны  $t_1$  и  $t_4$  внешние температуры поверхностей, температуры  $t_2$  и  $t_3$  неизвестны.

Рассматривается процесс теплопроводности через многослойную стенку а теплопередачу будем считать проходящим в стационарном режиме, так что величина теплового потока  $q$  проходящий через каждый слой стенки постоянен и для всех слоев одинаково и своем пути он будет преодолевает стену локального слоя теплового сопротивления  $\delta/\lambda$ . Таким образом, для каждого слоя стенки на основании (1.14) можно написать следующую формулу:

$$\begin{aligned}
 q &= (\lambda_1 / \delta_1)(t_1 - t_2), \\
 q &= (\lambda_2 / \delta_2)(t_2 - t_3), \\
 q &= (\lambda_3 / \delta_3)(t_3 - t_4),
 \end{aligned}
 \tag{1.19}$$

Из этих равенств можно определить температуру каждого слоя:

$$\begin{aligned}
 t_2 - t_1 &= q \cdot \delta_1 / \lambda_1, \\
 t_2 - t_3 &= q \cdot \delta_2 / \lambda_2, \\
 t_3 - t_4 &= q \cdot \delta_3 / \lambda_3,
 \end{aligned}
 \tag{1.20}$$

Суммируя правые и левые части этого равенства, получим полное падение температуры, которое состоит из суммы изменения температуры каждого слоя:

$$t_1 - t_4 = q(\delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + \delta_3 / \lambda_3),
 \tag{1.21}$$

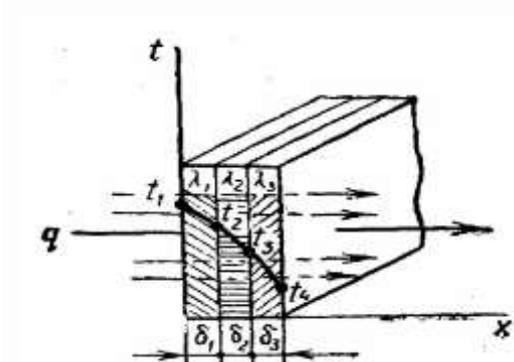


Рисунок 1.2. Плоская трехслойная стена.

Из этого отношения можно определить величину теплового потока  $q$  проходящей через многослойную стенку,;

$$q = \frac{t_1 - t_4}{\delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + \delta_3 / \lambda_3}
 \tag{1.22}$$

Из этого уравнения приходим к выводу, что общее термическое сопротивление многослойной стены равен сумме термических сопротивлений каждого слоя:

$$R = \delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + \dots + \delta_n / \lambda_n
 \tag{1.23}$$

для  $n$  слоистой стены формула записывается следующим образом:

$$q = \frac{t_1 - t_{n-1}}{\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i / \lambda_i} \quad (1.24)$$

неизвестные значения температуры могут быть найдены на основе следующей формулы:

$$\begin{aligned} t_2 &= t_1 - q\delta_1 / \lambda_1 \\ t_3 &= t_2 - q\delta_2 / \lambda_2 = t_1 - q(\delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2) \\ t_3 &= t_4 + q\delta_3 / \lambda_3, \end{aligned} \quad (1.25)$$

При  $\lambda = const$  из этого равенство видно, что распределение температуры каждого слоя стенки подчиняется линейному закону. В общем случае для многослойной стенки кривая температуры будет в виде ломаной линии.

Полученные формулы для многослойной стены могут быть использованы при хорошем тепловом контакте между слоями. Если между слоями образуется малый зазор воздуха, тепловое сопротивление значительно возрастает, потому что теплопроводность воздуха очень мала:

$$\lambda_{havo} = 0,023 vt / (m \cdot grad) \quad (1.26)$$

Часто стены тепловых машин и аппаратов ограничены двумя цилиндрическими поверхностями расположенные концентрически (трубы корпусов аппарата, цилиндров двигателей и т.п.) будут. В цилиндрической стенке теплопроводность происходит в соответствии с законами прохождения тепла плоской стенки. Единственное отличие состоит в том, что та же плоская поверхность внутренней стены, цилиндрической поверхности всегда мало наружной поверхности стены. Чем больше толщина стенки цилиндра, т.е. чем больше разница между внешним и внутренним диаметрами, разница внешней и внутренней поверхности настолько велики.

В рисунке 1.3 показано часть трубы длины  $L$ . Внешняя и внутренняя температуры  $t_1$  и  $t_2$  поверхностей  $F_1$  и  $F_2$ , соответственно трубы. Температура уменьшается в радиальном направлении. Поток тепла  $Q$  направлен с внутренней стороне трубы к внешней по нормали (по радиусам сечения). Его зна-

чение для всех слоев одинакова. Наружный и внутренний диаметр трубы равен  $d_1$  и  $d_2$  соответственно.

Для использования формулы Фурье (1.25) выведенной для плоской стенки выберем в стене элемент цилиндрического слоя радиуса  $r$  и толщины  $dr$ . В этом случае, можем посмотреть на это как на слое на плоской стене. Оконечные поверхности, через которых проходит тепло, величиной  $Q$  за время  $t$  будем считать за его поверхностью, разность температур  $dt$  между его поверхностями можно считать бесконечно малой.

Для элементарного слоя формула выглядит в следующем виде:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dr} Fr \quad (1.27)$$

Обозначим длину трубы через  $L$ , тогда определяется по, то формула Фурье могут быть заменены со значением 2.  $L = 1$  м и  $\tau = 1$  крон 1 метр длины трубы, так что теплоемкость потока  $Q$  найдете:

$$dt = -\frac{q'}{2\pi\lambda} \cdot \frac{dr}{r} \quad (1.28)$$

$$q' = -\lambda \frac{dt}{dr} 2\pi r \quad (1.29)$$

Интегрируя последнее равенство, получим количество изменений, потока тепла, проходящего через цилиндрическую стенку (по сравнению с 1 м длины трубы) определяют по формуле:

$$q' = \frac{\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (1.30)$$

Тепловой поток, взятый относительно единицы измерения длины трубы называется плотность теплового потока. Знаменатель в правой части равенства (1.30) называется линейным тепловым сопротивлением и обозначается через  $R_\lambda$ :

$$R_\lambda = \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (1.31)$$

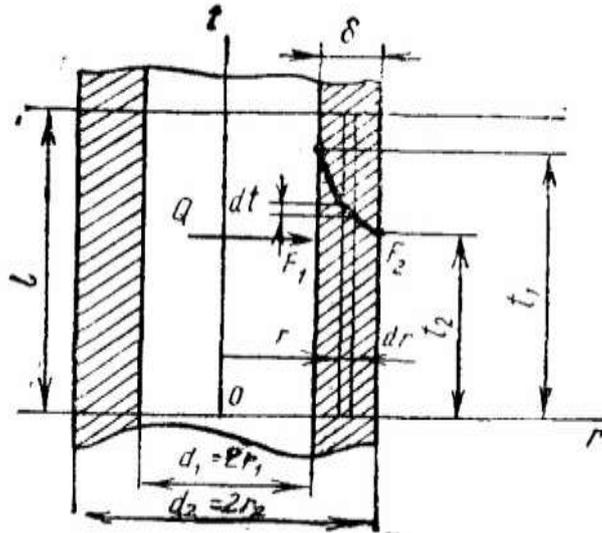


Рисунок 1.3. Цилиндрическая однослойная стена.

Как видно из формулы, для цилиндрической стенки определение  $R_{\lambda}$  термического сопротивления сложно. Поэтому чтобы рассчитать примерно цилиндрическую тепловое сопротивление плоской стенки используется более простая формула:

$$R'_{\lambda} = \delta / \lambda \quad (1.32)$$

Чем меньше отношение диаметров  $d_1/d_2$ , тем меньше погрешность вычисления теплового сопротивления по упрощенной формуле. При  $d_2/d_1 = 2$  ошибка формулы равна 4%, а для  $d_2/d_1 = 1,5$  погрешность снижается до 1,4%.

Как правило, в теплообменных оборудовании соотношение диаметр трубы не бывает больше чем 1,5. Поэтому в таких случаях, когда можно использовать формулу для вычисления теплопроводности плоской стенки для вычисления конвективный теплообмен можно использовать два способа: конвекция и теплопроводность.

Конвективный теплообмен между движущей средой и граничной поверхностью другой среды (твердого тела, жидкости или газа) называется теплоотдачей.

### **1.3. Математическая модель – основа теоретического изучения физических процессов**

В настоящее время создаются основы нового метода в научном исследовании - математическое моделирование и вычислительный эксперимент. Содержанием этой методики является то, что текущий объект заменяется на его математический модель и с помощью современных вычислительных средств изучаются эти математические модели. Метод математического моделирования развивается быстрыми темпами, и охватывает, начиная с создания и управления больших технических систем до анализа сложных процессов в экономической и социальной областях.

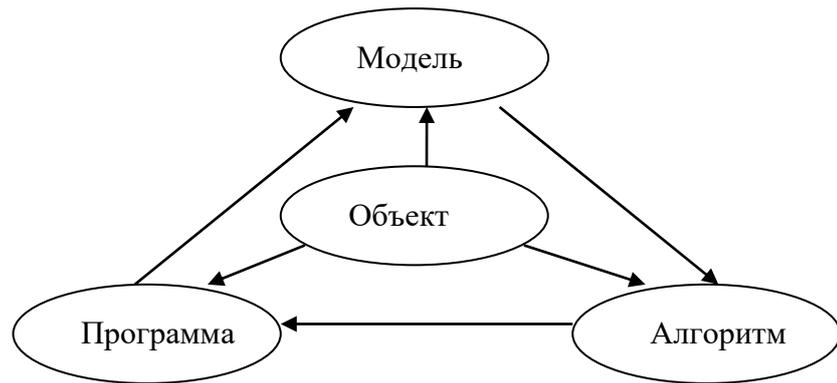
Широкое использование математических методов повышает общий уровень теоретических исследований и дает возможность осуществлять экспериментальные исследования в тесном контакте. Математическое моделирование можно рассматривать в качестве нового метода понимания, проектирования и строительства, который объединяет в себе достижения теории и практики. Работа не самим объектом, а ее моделью позволяет изучение его поведения, текущего состояния без расходов. В то же время, вычислительные эксперименты проведенные (на компьютере, имитационные) над моделями объектов основанные на технических средствах и мощности информатики дают возможность изучать объекты полнее и глубже, чем теоретический подход изучения объектов.

Системы изучаемые с технической, экологической, экономической точек зрения и с помощью простых теоретических методов современной науки не могут быть изучены с необходимой полнотой и точностью. Исследования,

проводимые непосредственно над ними имеют долгосрочный, дорогостоящий и часто опасный характер. Вычислительный эксперимент позволяет провести исследование быстрее и дешевле. Математическое моделирование является одним из основ научно-технического прогресса. В развитых странах ни один из крупномасштабных проектов технологического, экологического и экономического характера не разрабатывается без предварительного моделирования. Возникновение и усовершенствование методологии математического моделирования приходится концу 40-х и началу 50-х годов XX века, что обусловлено двумя факторами: первый, но не основной фактор - это появление ПК. Появление ПК освободило исследователей от громоздких вычислений. Вторым, важным фактором является реализации национальных программ социального порядка создание ядерного щита бывшего Советского Союза и США. Решение таких сложных научно-технических проблем не может быть осуществлено традиционными методами без использования современных средств вычисления. Ядерные взрывы, ракетные и спутниковые ракетносители были спроектированы на компьютере, а затем реализованы на практике.

Основу математического моделирования составляет тройная цепочка "модель-алгоритм-программа" (Рис.1.4). Математические модели исследуемых процессов сложны и включает в себя систему нелинейных функционально-дифференциальных уравнений. Ядро математической модели составляют уравнения в частных производных.

В первом этапе вычислительного эксперимента отражается в математических формах закономерности, относящиеся к важным особенностям объекта, его конкретным конструктивным особенностям. Математическая модель (ее основные части) используется для определения текущих состояний исследуемого объекта с помощью традиционных аналитических инструментов прикладной математики.



*Рисунок 1.4. Интеллектуальное ядро математического моделирования.*

Второй этап связан с выбором (или развитием) компьютерных алгоритмов для разработки модели на компьютере. Определяемые величины следует рассчитать с требуемой точностью на имеющийся вычислительной технике. Алгоритмы расчета не должны ограничивать основных особенностей модели, непосредственно объекта; должны быть адаптированы к свойствам решаемой задачи. Основы математических моделей изучаются, на основе методов вычислительной математики, которая состоит из численных методов решения граничных задач уравнений в частных производных математической физики.

На третьем этапе создается программное обеспечение для работы с моделью и алгоритмом на компьютере. Программный продукт должен учитывать важные свойства математического моделирования, такие как использование несколькими математическими моделями, многовариантностью вычислений. Поэтому широко используются набор приложений и пакетов, основанных на объектно-ориентированное программирование.

Все основные этапы вычислительного эксперимента обеспечивают глубокий анализ фактора математического моделирования. На основе тройной цепочки "Модель-алгоритм-программа" исследователь получает совершенное, гибкое и недорогое средство, которое с начало проверяется, после

чего проводится всесторонний анализ математических моделей для получения необходимых качественных и количественных свойств объекта.

Вычислительный эксперимент по природе имеет междисциплинарный характер. Нельзя переоценить важность синтеза математического моделирования при современном научно-техническом производстве. В общих исследованиях в прикладных сферах будут участвовать специалисты по прикладной и вычислительной математике, по прикладному и системному программному обеспечению. Вычислительный эксперимент проводится на основе начиная с качественного анализа расчета нелинейных математических моделей до современных языков программирования, основанных на различных методах и подходах. Моделирование, в том или ином виде участвует почти в каждом виде творческой деятельности. Математическое моделирование расширяет сферу точных наук, а также поле приложений рациональных методов. Он основывается на четкое формирование основных понятий и гипотез, апостериоральный анализ адекватности использованных моделей, контроль точности алгоритмов вычислений, качественную обработку и анализ данных вычислений.

В современном этапе решение проблемы жизненной обеспеченности основано на использование математического моделирования и вычислительного эксперимента. Вычислительные средства (компьютеры и численные методы) обычно хорошо описаны в исследованиях по естествознанию, первым делом, в физике и механике. Активный процесс математизации осуществляется в химии, в биологии, в почвоведении, в социальных науках. Использование математического моделирования достиг значительных успехов в области техники и технологии.

Применение современных информационных технологий в медицине обусловлено своевременной диагностикой заболеваний. Например, медицинский инструмент - компьютерный томограф является результатом применения математических методов для обработки больших блоков данных.

Здесь описаны основные подходы, направленные на создание и анализ математических моделей, являющиеся общими для разных областей науки и независимые от какого либо фактора. Окружающий людей мир един. В частности, это отражается в однообразии математических устройств, описывающих различные объекты и явления. Показаны общие черты научно исследовательского вычислительного эксперимента. Ниже приводится краткое описание различных видов вычислительного эксперимента. Вычислительный эксперимент появился в результате применения компьютера и вычислительных методов для изучения математических моделей. Он рассматривается как наивысший этап математического моделирования.

Понятие математической модели не имеет строгого формализованного определения, однако в него вкладывают конкретное содержание, связанное с применением математики. Большинство научных дисциплин по существу являются упорядоченным множеством математических моделей, построение которых сопровождается обоснованием адекватности отображения ими свойств исследуемых явлений и процессов.

Адекватность математической модели является, как правило, большим научным достижением. Она позволяет провести детальное исследование изучаемого объекта и дать надежный прогноз его поведения в различных условиях. Но за адекватность математической модели нередко приходится расплачиваться ее усложнением, что вызывает трудности при ее использовании. В этом случае на помощь математике и приходит современная вычислительная техника, существенно расширившая класс математических моделей, допускающих исчерпывающий количественный анализ.

Такую общность и универсальность математической модели можно объяснить тем, что в математике используют абстрактные основополагающие понятия, немногочисленные, но весьма емкие по содержанию. Это позволяет конкретные факты из самых различных областей знаний рассматривать как проявление этих понятий и отношений между ними. Совокупность

таких понятий и отношений, выраженных при помощи системы математических символов и обозначений и отражающих некоторые свойства изучаемого объекта, называют математической моделью этого объекта.

Создание в середине XX века электронных вычислительных машин (компьютеров) можно сравнить по своей значимости с любым из самых выдающихся технических достижений в истории человечества. В то же время необходимо подчеркнуть их особую, специфическую роль. Если обычные машины расширяют физические возможности людей в процессе трудовой деятельности, то компьютеры являются их интеллектуальными помощниками. Широкое применение математических методов на базе компьютеров привело к появлению новых эффективных методов познания законов реального мира их использования в практической деятельности. Процесс математизации науки, техники, экономики потребовал подготовки высококвалифицированных специалистов, в совершенстве владеющих технологией применения компьютеров, способных реализовать их огромные и пока еще далеко не исчерпанные возможности. Компьютеры не работают без направляющего воздействия человека. Их использование связано с построением математических моделей и созданием вычислительных алгоритмов. Компьютерные системы должны также пройти соответствующий процесс «обучения», то есть получить программное обеспечение как общего, так и проблемно-ориентированного характера. Весь этот широкий комплекс проблем является полем деятельности специалистов по прикладной математике, для подготовки которых в конце 60-х – начале 70-х годов XX века во многих университетах были созданы новые факультеты. И первым, в 1969 году, факультет прикладной математики – процессов управления в Ленинградском (ныне Санкт-Петербургском) государственном университете. Один известный российский математик, подчеркивая, в частности, специфическую особенность «чистой» и прикладной математики, говорил: «Чистый» математик доказывает, а математик-прикладник убеждает...». Различие это обусловлено, конечно, не

различным складом ума «чистых» математиков и математиков-прикладников, а различием предмета их исследования. «Чистый» математик в известном смысле сам конструирует объекты своего исследования по собственному произволу и ограничен лишь требованиями логической определенности и непротиворечивости. Математик-прикладник изучает независимо от нас существующую природу, которая «выдана» нам в одном единственном экземпляре, и ему волей-неволей приходится больше заботиться о соответствии вводимых понятий этому единственному объекту, чем о соображениях удобства рассмотрения или логической стройности. Иными словами прикладная математика, будучи по используемым в ней методам наукой точной, остается в то же время наукой естественной по предмету и цели своего исследования. Роль прикладной математики в различных областях человеческой деятельности и в разное время была различной. Она складывалась исторически, и существенное влияние на нее оказывали два фактора: уровень развития математического аппарата и степени зрелости знаний об изучаемом объекте, возможность описать его наиболее существенные черты и свойства на языке математических понятий и уравнений или, как принято говорить, возможность построить физическую и математическую модели изучаемого объекта. Из-за сложности реального мира, изучая реальное явление, процесс или объект, мы всегда вынуждены его упрощать и вместо самого явления рассматривать некоторую идеализированную модель его, стремясь к тому, чтобы в выбранной модели сохранить самые характерные, наиболее важные черты явления. По образному выражению известного ученого Я.И.Френкеля, исследователи фактически всегда рассматривают не само явление, а некоторую упрощенную схему, то есть как бы карикатуру на него. Сущность этой методологии состоит, как уже отмечалось, в замене исходного объекта его «образом» – математической моделью и в дальнейшем изучении модели с помощью вычислительных алгоритмов, реализуемых на компьютерах. Это «третий метод» (наряду с натурным и теоретическим) познания, конструиро-

вания, проектирования сочетает многие достоинства, как теории, так и эксперимента. Работа не с самим объектом (явлением, процессом), а с его моделью дает возможность относительно быстро и без существенных затрат исследовать свойства и поведение объекта в любых мыслимых ситуациях. В то же время вычислительные (компьютерные, имитационные) эксперименты с моделями объектов позволяют, опираясь на мощь современных вычислительных методов и технических инструментов информатики, подробно и глубоко изучать объекты с достаточной полнотой, недоступной чисто теоретическим подходам. Неудивительно, что методология математического моделирования бурно развивается, охватывая все новые сферы – от разработки технических систем и управления ими до анализа сложнейших социальных, экологических и биологических процессов. Сейчас математическое моделирование вступает в следующий принципиально важный этап развития, встраиваясь в структуры информационного общества. Впечатляющий прогресс средств переработки, передачи и хранения информации отвечает мировым тенденциям к усложнению и взаимному проникновению различных сфер человеческой деятельности. Без владения информационными ресурсами нельзя и думать о решении все более укрупняющихся и все более разнообразных проблем, стоящих перед мировым сообществом. Поэтому совершенно очевидно, что научная и, особенно, практическая ценность исследований в любой сфере человеческой деятельности может быть обеспечена только комплексными исследованиями с использованием взаимодополняющих методов. И, прежде всего, математическим моделированием и компьютерным экспериментом в сочетании с натурным экспериментом, что ставит во главу угла необходимость создания на базе мощного универсального компьютера информационно-экспертной системы (ИЭС), поскольку только в рамках такой системы можно совместить трудно совместимое. Именно сочетание взаимодополняющих методов исследования в ИЭС позволяет создать совершенно новую информационную инфраструктуру, интегрирующую системы сбора, хране-

ния, обработки и экспертизы информации и, как результат, прогнозирование результатов будущих исследований. Технические, экологические, экономические и иные системы, изучаемые современной наукой, больше не поддаются исследованию (с требуемой полнотой и точностью) обычными теоретическими методами. А прямой натуральный эксперимент дорог, занимает много времени, часто либо опасен, либо попросту невозможен, так как многие из этих систем существуют в единственном экземпляре. Цена ошибки и просчетов в обращении с ними недопустимо велика. Поэтому информационное моделирование с использованием информационно-экспертных компьютерных систем, сочетающих взаимодополняющие методы математического и компьютерного моделирования и натурального эксперимента, является необходимой составляющей научно-технического прогресса. Пожалуй, наиболее ярко эффективность информационного моделирования может быть продемонстрирована на примере исследования и практической реализации электромеханических систем. Как известно, под электромеханической понимается система заряженных частиц (тел), управляемых и взаимодействующих посредством электромагнитных полей. То есть электромеханическими системами являются практически все окружающие нас материальные объекты. Это объекты микромира – атомы и молекулы, объекты макромира – твердые тела, жидкости, газы, плазма. Это и ускоритель заряженных частиц, и атомная электростанция. Это, наконец, и компьютер, представляющий собой совокупность классической и квантовой электромеханических систем. Совершенно очевидно, что при исследовании всего множества электромеханических систем не существует общего метода моделирования или эксперимента. Однако метод информационного моделирования на основе ИЭС исключительно эффективен. Применительно к исследованию электромеханических систем ИЭС должна состоять из двух модулей: инструментального и информационного, имеющих общее ядро – компьютер. В соответствии с общей концепцией ИЭС в структурах информационного и инстру-

ментального модулей должен присутствовать один общий элемент – информационный банк или база знаний. Информационный банк является главным, стержневым элементом ИЭС. Для того чтобы выполнять свою роль, помимо обладания энциклопедическими фактическими знаниями о предмете исследования, он должен быть хранилищем образов исследуемых объектов, явлений, процессов, представленных в формализованном виде, то есть в виде математических моделей. При этом применительно к информационному модулю наукоемкость информационного банка будет определяться триадой: модель–алгоритм–компьютер, а применительно к инструментальному – степенью адекватности математических моделей данным, полученным в процессе натурального эксперимента и моделирования. Информационный модуль должен, таким образом, состоять из четырех элементов: 1) управления, 2) сбора (накопления) данных, 3) обработки и экспертизы результатов численного и натурального эксперимента и 4) информационного банка. Информационный банк, являясь стержневым элементом системы, представляет и главную цель, и основной инструмент достижения этой цели на этапах разработки, проектирования, конструирования и моделирования отдельных элементов ИЭС и ИЭС в целом. При этом использование ИЭС на всех стадиях ее разработки позволяет изучить все или часть элементов взаимодополняющими методами, что значительно повышает эффективность и оперативность исследований, снижает их стоимость, позволяет проверить совместимость элементов и методов, и т.д. К тому же в процессе разработки происходит наполнение информационного банка результатами экспериментов, математическими моделями и комплексами программ. Конечно, на этапе разработки в работе используются некоторые частные варианты системы, отличающиеся инструментальными модулями и комплексами программ. Конечно, на этапе разработки в работе используются некоторые частные варианты системы, отличающиеся инструментальными модулями и емкостью информационного банка. На конечном этапе ИЭС, выполняя основные задачи, может также использо-

ваться для конструктивного и функционального совершенствования отдельных элементов и всей системы в целом. Информационный банк, замкнутый на получателя информации (оператора-исследователя), как уже отмечалось, является элементом, связующим модули. Структура инструментального модуля в обобщенном виде должна включать еще четыре элемента: источник информации – объект исследования; источник переносчика информации (источник диагностирующего сигнала); средства образования сигнала об изменении параметров диагностирующего сигнала в результате его взаимодействия с исследуемым объектом; приемник информации – совокупность устройств для регистрации параметров вторичного сигнала.

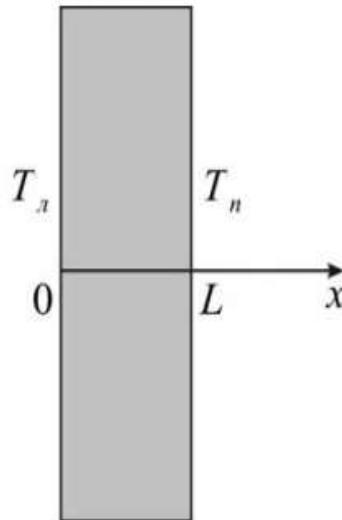
## **Заключение по главе I**

В данной вводной главе дается обоснование выбранной темы исследования с помощью теоретического анализа основных понятий теории теплопроводности, ее истории развития, важности изучения процессов теплопроводности, ее видов в средах, вывода общей математической модели. Указываются основные свойства математической модели и важность вычислительного эксперимента при компьютерном моделировании.

## ГЛАВА II. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ВНЕШНИМИ ИСТОЧНИКАМИ

### 2.1. Линейные задачи теплопроводности

Рассмотрим краевую задачу для одномерного уравнения теплопроводности. Анализируется теплопередача через плоскую бесконечную пластину или изолированный стержень (рис. 2.1). На одной границе пластины поддерживается постоянная температура  $T_l$ , на другой границе - температура  $T_n$ . Начальная температура равна  $T_0$ , источники тепловыделения внутри пластины отсутствуют.



*Рис. 2.1. Геометрия задачи*

При заданных условиях температура будет изменяться только в направлениях, перпендикулярных границе пластины. Если ось  $Ox$  направить, как показано на рис. 2.1, то температура в направлении  $Oy$  и  $Oz$  может считаться постоянной. Также предположим, что теплофизические характеристики не зависят от температуры. В связи с этим дифференциальное уравнение (1.1) преобразуется к виду:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad 0 < x < L \quad (2.1)$$

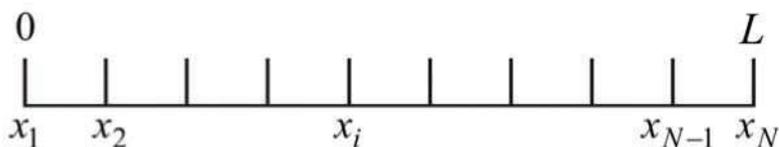
Начальные и граничные условия запишутся следующим образом:

$$t=0: T=T_0, 0 \leq x \leq L; \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} x=0: T=T_n, t > 0; \\ x=L: T=T_n, t > 0. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Для того чтобы дать полное математическое описание рассматриваемой задачи, необходимо еще задать физические условия однозначности. Если пластина изготовлена из стали, то  $\lambda = 46 \text{ Вт/(м} \cdot \text{}^\circ\text{С)}$ ,  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 460 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{}^\circ\text{С)}$ .

Эту задачу в полной математической постановке будем решать методом конечных разностей на равномерной сетке. Для этого разобьем пластину по толщине на  $N-1$  равных промежутков, т.е. построим конечно-разностную сетку (рис. 2.2):



*Рис. 2.2. Конечно-разностная сетка:  
 $x_2, x_3, \dots, x_{N-1}$ -координаты внутренних узлов;  
 $x_1, x_N$  - координаты граничных узлов*

Определим значение температуры в  $i$ -ом узле в момент времени  $t = t_n = nt = n \cdot \tau$  как  $T(x_i, t_n) = T_i^n$ . Здесь  $\tau$  - шаг интегрирования по временной координат,  $n$  - номер шага по времени.

Далее заменим дифференциальные операторы в (2.1) на их конечно-разностные аналоги. Будем пользоваться неявной схемой.

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau}, \\ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

В результате аппроксимации частных производных соответствующими конечными разностями получаем следующую систему линейных алгебраиче-

ских уравнений (СЛАУ):

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \cdot \left( \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} \right), i=2, \dots, N-1, n \geq 0 \quad (2.5)$$

Выбранную схему аппроксимации частных производных можно графически представить следующим образом:

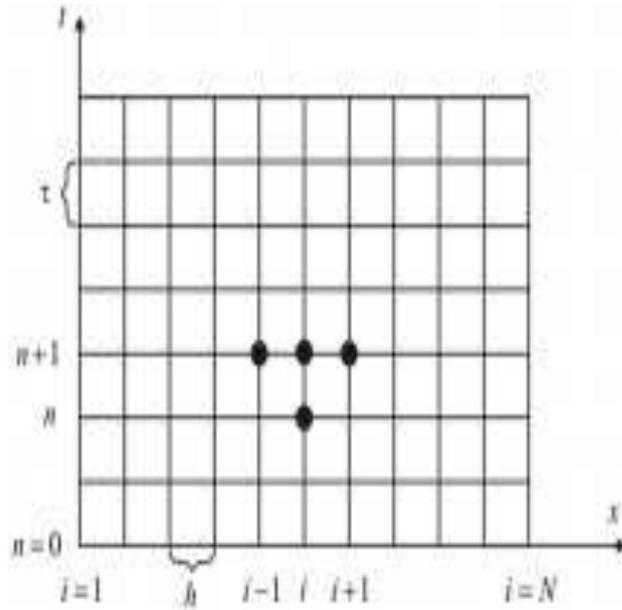


Рис. 2.3. Шаблон неявной четырехточечной разностной схемы.

Рис.2.3 наглядно демонстрирует, что используется четырехточечная разностная схема - три точки берутся на новом временном слое и одна со старого временного слоя.

Сформулированный выше способ аппроксимации производных называется неявным потому, что поле температуры на новом временном слое представлено неявно, т.е. для его определения необходимо решать систему уравнений (2.5).

Полученную систему можно свести к наиболее общему виду:

$$A_i \cdot T_{i+1}^{n+1} - B_i \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot T_{i-1}^{n+1} = F_i, \quad (2.6)$$

где

$$A_i = C_i = \frac{\lambda}{h^2}, B_i = \frac{2 \cdot \lambda}{h^2} + \frac{\rho c}{\tau}, F_i = -\frac{\rho c}{\tau} T_i^n.$$

Такие уравнения называют трехточечными разностными уравнениями второго порядка. Система (2.6) имеет трехдиагональную структуру. В связи с тем, что рассматривается нестационарная задача, систему (2.6) необходимо решать на каждом шаге по времени.

Предположим, что существуют такие наборы чисел  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  ( $i = \overline{1, N-1}$ ), при которых

$$T_i^{n+1} = \alpha_i \cdot T_{i+1}^{n+1} + \beta_i \quad (2.7)$$

т.е. трехточечное уравнение второго порядка (2.6) преобразуется в двухточечное уравнение первого порядка (2.7). Уменьшим в связи (2.7) индекс на единицу и полученное выражение  $T_{i-1}^{n+1} = \alpha_{i-1} \cdot T_i^{n+1} + \beta_{i-1}$ , подставим в данное уравнение (2.6):

$$A_i \cdot T_{i+1}^{n+1} - B_i \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot \alpha_{i-1} \cdot T_i^{n+1} + C_i \cdot \beta_{i-1} = F_i,$$

откуда получаем

$$T_i^{n+1} = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}} T_{i+1}^{n+1} + \frac{C_i \cdot \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}$$

Последнее равенство имеет вид (2.7) и будет точно с ним совпадать, если при всех  $i = 2, 3, \dots, N-1$  выполняются соотношения

$$\alpha_i = \frac{A_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}}, \quad \beta_i = \frac{C_i \cdot \beta_{i-1} - F_i}{B_i - C_i \cdot \alpha_{i-1}} \quad (2.8)$$

Для определения  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  по (2.8) необходимо знать  $\alpha_1$  и  $\beta_1$ , которые находятся из левого граничного условия.

Далее по формулам (2.7) последовательно находятся  $T_{N-1}^{n+1}, T_{N-2}^{n+1}, \dots, T_2^{n+1}$ , при условии, что  $T_N^{n+1}$  найдено из правого граничного условия.

Таким образом, решение уравнений вида (6) описываемым способом, называемым методом прогонки, сводится к вычислениям по трем формулам:

нахождение так называемых прогоночных коэффициентов  $\alpha_i, \beta_i$  по формулам (8) при  $i = \overline{2, N-1}$  (прямая прогонка) и затем получение неизвестных  $T_N^{n+1}$  по формуле (2.7) при  $i = N-1, N-2, \dots, 2$  (обратная прогонка).

Для успешного применения метода прогонки нужно, чтобы в процессе вычислений не возникло ситуаций с делением на нуль, а при больших размерностях систем не должно быть быстрого роста погрешностей округлений.

Будем называть прогонку корректной, если знаменатели прогоночных коэффициентов (8) не обращаются в нуль, и устойчивой, если  $|\alpha_i| < 1$  при всех  $i = \overline{1, N-1}$ .

В [21] доказана теорема, представляющая достаточные условия корректности и устойчивости прогонки уравнений (2.6):

$$|B_i| > |A_i| + |C_i| \quad \forall i = \overline{2, N-1} \text{ и } |\alpha_1| < 1 \Rightarrow |\alpha_i| < 1 \quad (2.9)$$

которые во многих приложениях метода выполняются автоматически.

Возвращаясь к системе (2.5), определим прогоночные коэффициенты и воссоздадим полный алгоритм решения полученной системы.

Поскольку при  $x = 0$   $T = T_n$ , то

$$\begin{aligned} T_1^{n+1} &= \alpha_1 \cdot T_2^{n+1} + \beta_1 = T_n, \\ \alpha_1 &= 0, \quad \beta_1 = T_n \end{aligned}$$

а при

$$T_N^{n+1} = T_n.$$

Прогоночные коэффициенты вычисляются по формулам (2.8).

Таким образом, разностные соотношения, аппроксимирующие дифференциальную задачу (2.3), (2.4), имеют следующий вид:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \cdot \left( \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2} \right), \quad i = \overline{2, \dots, N-1}, \quad n \geq 0. \quad (2.10)$$

$$T_i^0 = T_0, \quad i = \overline{2, \dots, N-1};$$

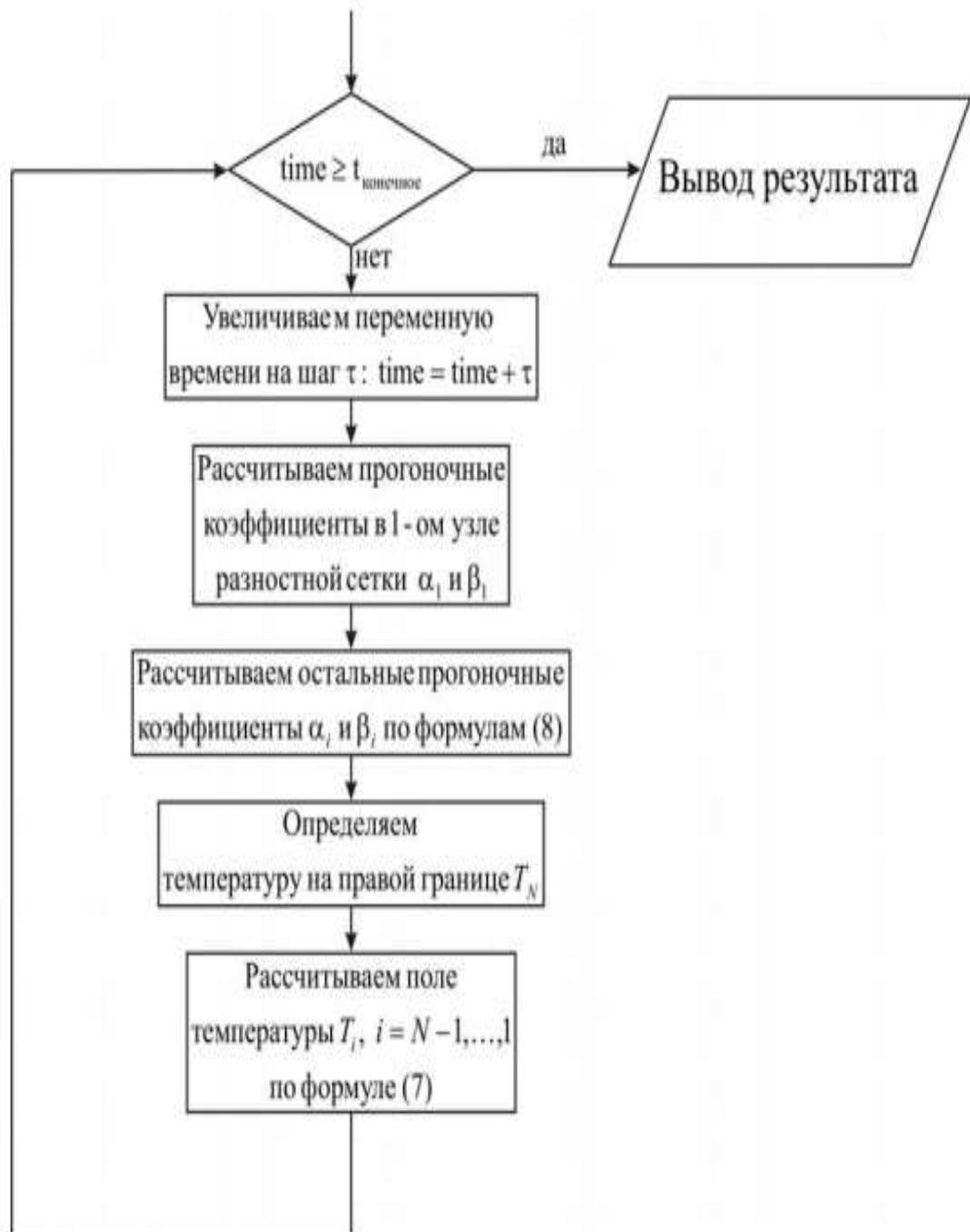
$$T_1^n = T_n, \quad n > 0,$$

$$T_N^n = T_n, \quad n > 0. \quad (2.11)$$

Аппроксимация дифференциальной задачи (2.3), (2.4) конечно-разностной (2.10), (2.11) выполнена с первым порядком точности по времени  $t$  и вторым по пространственной координате  $h$ . При этом неявная разностная схема является абсолютно устойчивой, т.е. можно проводить интегрирование краевой задачи (2.3), (2.4) с любым разностным шагом по времени. Шаг по времени выбирается таким образом, чтобы весь интервал времени разбивался хотя бы на 10 шагов (желательно больше).

*Блок-схема к рассматриваемой задаче имеет вид:*





На основе этого алгоритма создана программа на языке C++ (листинг программы см. Приложение) для решения рассматриваемой задачи.

Результаты расчетов по приведенной программе при  $L = 0,1$  м,  $X = 46$  Вт/(м<sup>0</sup>С),  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>,  $c = 460$  Дж/(кг<sup>0</sup>С),  $T = 20$  °С,  $T_l = 300$  °С,  $T_n = 100$  °С через 60 секунд процесса нагрева приведены на рис. 2.4.

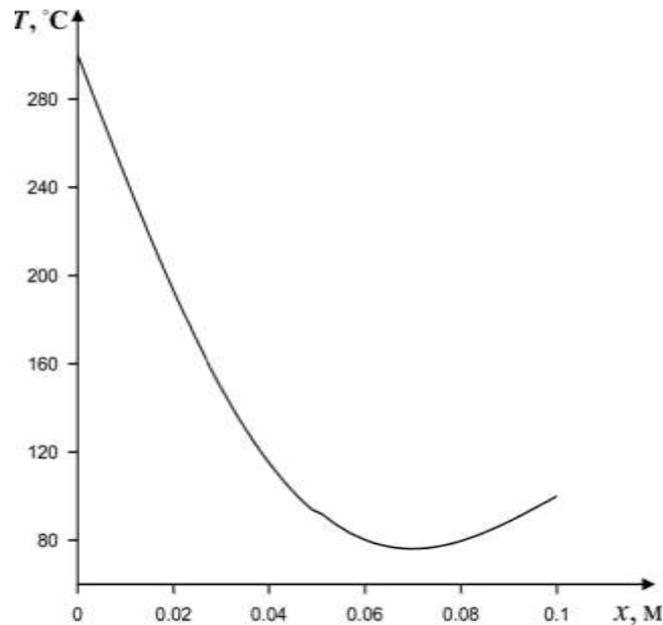


Рис. 2.4. Распределение температуры по толщине пластины в момент времени  $t = 60$  с

Как отмечалось выше, рассмотренная расчетная схема является неявной, т.е. для определения поля температуры приходится решать систему линейных алгебраических уравнений. Но помимо предложенной схемы существует также и явная схема. В такой схеме явно определяется поле температуры и не нужно решать систему уравнений для определения прогоночных коэффициентов  $\alpha_i$ , и  $\beta_i$ . Рассмотрим ту же задачу, но уже с использованием явной схемы.

Отличие явной схемы от неявной заключается в аппроксимации диффузионного слагаемого, а именно, во временном слое на котором рассматривается неизвестное поле температуры:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n}{h^2}$$

Таким образом, в результате аппроксимации частных производных соответствующими конечными разностями получаем следующее соотношения для определения поля температуры:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau} = \lambda \cdot \left( \frac{T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n}{h^2} \right), \quad i=2, \dots, N-1, n \geq 0.$$

Графически явную разностную схему можно представить следующим образом:

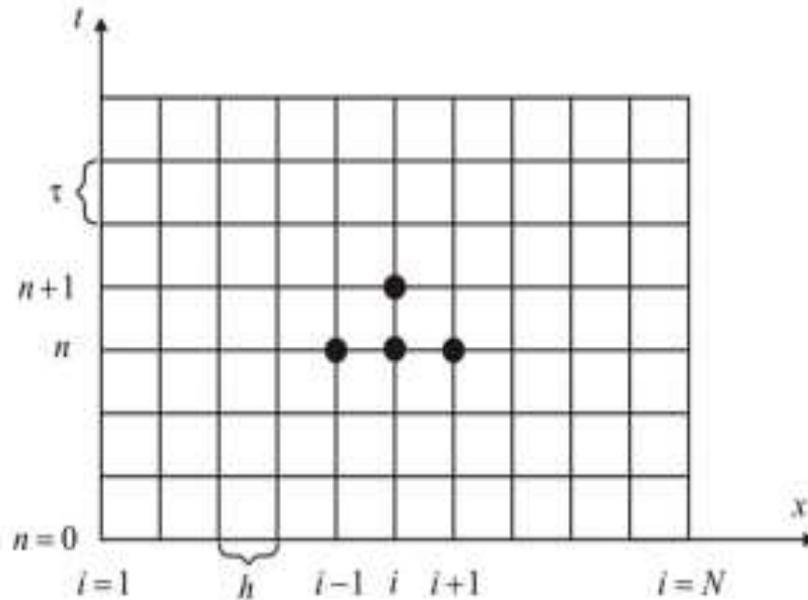


Рис. 2.5. Шаблон явной четырехточечной разностной схемы

Из шаблона (рис. 2.5) видно, что для определения неизвестного поля температуры никакой системы уравнений для  $\alpha_i$ , и  $\beta_i$ , решать не требуется.

$$T_i^{n+1} = T_i^n + \frac{\lambda \cdot \tau}{\rho \cdot c} \cdot \left( \frac{T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n}{h^2} \right), \quad i=2, \dots, N-1, n \geq 0$$

и аналогичные разностные аналоги краевых условий:

$$T_i^0 = T_0, \quad i=2, \dots, N-1;$$

$$T_1^n = T_l, \quad n > 0,$$

$$T_N^n = T_n, \quad n > 0.$$

Таким образом, мы получили простую систему линейных алгебраических уравнений для нахождения распределения температуры в пластине в различные моменты времени. Аппроксимация дифференциальной задачи (2.1)-(2.3) конечно-разностной (2.10)-(2.11) выполнена также с первым по-

рядком по времени  $t$  и вторым по пространственной координате  $h$ . Но чтобы решение конечно-разностной задачи (2.10)-(2.11) сходилось к решению дифференциальной задачи, достаточно выполнение следующего условия (условия устойчивости разностной схемы):

$$\tau < \frac{\rho \cdot c \cdot h^2}{2 \cdot \lambda}.$$

Таким образом, явная разностная схема является условно устойчивой и требует специальных мероприятий по оценке возможности ее использования.

## 2.2. Численные методы решения начально-краевых задач для уравнения теплопроводности

В качестве примера уравнения параболического типа остановимся на уравнении теплопроводности для однородного стержня  $a \leq x \leq b$

$$\alpha^2 u_{xx} - u_t = 0, \quad a \leq x \leq b, \quad t > 0 \quad (2.12)$$

С начально-краевыми условиями

$$u(x, 0) = f_1(x), \quad a \leq x \leq b \quad (2.13)$$

$$u(0, t) = P_1(t), \quad u(l, t) = P_2(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (2.14)$$

где  $u = u(x, t)$  — температура и  $t$  — время,  $f_1(x)$  - начальная температура во внутренних точках стержня,  $P_1(t)$  и  $P_2(t)$  законы изменения температуры в зависимости от времени (тепловые режимы) на концах стержня.

Требуется найти распределение температуры  $u = u(x, t)$  вдоль стержня в любой момент времени  $t$ . Решим эту смешанную задачу методом сеток [6], [7]. Чтобы решить эту проблему (2.12) в переменных  $x$  и  $t$  в сети:

$$x_i = a + ih, \quad \text{здесь } h = \frac{b-a}{n}, \quad n \text{ число узловых точек, } t_j = j \cdot \tau, \quad \tau = T/m, \quad m$$

от числа узловых точек.

(2.9), уравнение распространения тепла без явного ограниченного урегулировать разногласия. Чтобы сделать это, используйте следующий шаблон:

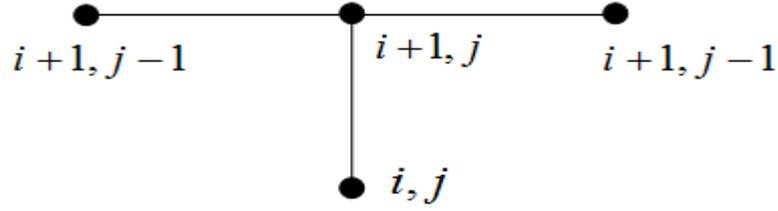


Рис.2.2 Сетка для неявной схемы.

На основании шаблона (2.12) образуют конечно-разностное уравнение:

$$\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{\tau} = a^2 \cdot \frac{u_{i+1,j+1} - 2 \cdot u_{i+1,j} + u_{i+1,j-1}}{h^2} \quad (2.15)$$

Умножая (2.15) на  $\tau$  будем иметь следующее уравнение:

$$u_{i+1,j} - u_{i,j} = \frac{a^2 \cdot \tau}{h^2} (u_{i+1,j+1} - 2 \cdot u_{i+1,j} + u_{i+1,j-1}) \quad (2.16)$$

(2.17) можно свести к наиболее общему виду:

$$A_i \cdot u_{i+1,j-1} - B_i \cdot u_{i+1,j} + C_i \cdot u_{i+1,j+1} = E_{i,j} \quad (2.17)$$

Чтобы сделать это, (2.17), изменение формы ниже:

$$\frac{a^2 \cdot \tau}{h^2} (u_{i+1,j+1} - 2 \cdot u_{i+1,j} + u_{i+1,j-1}) - u_{i+1,j} = -u_{i,j} \quad (2.18)$$

(2.18) (2.17) вид:

$$\frac{a^2 \cdot \tau}{h^2} \cdot u_{i+1,j+1} - \left(\frac{2 \cdot \tau}{h^2} - 1\right) \cdot u_{i+1,j} + \frac{\tau}{h^2} u_{i+1,j-1} = -u_{i,j} \quad (2.19)$$

(2.16) (2.14) по сравнению с коэффициентом равна следующее:

$$A_i = \frac{a^2 \cdot \tau}{h^2}; \quad B_i = \frac{2 \cdot \tau}{h^2} - 1; \quad C_i = \frac{\tau}{h^2}; \quad E_i = -u_{i,j} \quad (2.20)$$

( (2.16) прогонка для решения уравнения)  $\square \square$ , чтобы использовать. Для этого, объединяя граничные условия (2.16) система уравнений может быть записана в виде:

$$\left. \begin{aligned} -C_{i0} \cdot u_{i0} + B_{i0} \cdot u_{i1} &= -E_{i0} & (j=0) \\ A_{ij} \cdot u_{ij-1} - C_{ij} u_{ij} + B_{ij} u_{ij+1} &= -E_{ij} & (1 \leq j \leq n-1) \\ A_{in} \cdot u_{in-1} - C_{in} \cdot u_{in} &= -E_{in} & (j=n) \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

(2.21), однако, что мы принимаем, потому что в этом случае (2.14) в соответствии с граничными условиями. Внутренние точки являются следующие:

$$A_{i,j} = \frac{a^2 \cdot \tau}{h^2}; \quad B_{i,j} = \frac{2 \cdot \tau}{h^2} - 1; \quad C_{i,j} = \frac{\tau}{h^2}; \quad E_{i,j} = -u_{i,j} \quad (2.22)$$

(2,22), (2,21) находится в интервале.

Конец второй температуры стержня (2.14) в соответствии с критериями, т.е.. Поэтому (2.14)

$$A_{i,n} = 0, \quad C_{i,n} = 1, \quad E_{i,n} = P_2(t) \quad (2.20)$$

Неизвестный  $u_{i,j}$  следующим образом:

$$u_{i,j} = a_{i,j} \cdot z_{i,j+1} + b_{i,j} \quad (2.21)$$

(2.11),  $a_{i,j}$ ,  $b_{i,j}$  называется коэффициентами прогонки.

(2.21),  $j = j-1$  что мы сможем принять следующее:

$$u_{i,j-1} = a_{i,j-1} \cdot u_{i,j} + b_{i,j-1} \quad (2.22)$$

(2.22) в значениях (2.18), и будет в состоянии:

$$A_{i,j} (a_{i,j-1} \cdot u_{i,j} + b_{i,j-1}) - C_{i,j} \cdot u_{i,j} + B_{i,j} u_{i,j+1} = -E_{i,j}$$

Здесь  $u_{i,j}$  сгруппированы их без скобок.

$$\begin{aligned} A_{i,j} \cdot a_{i,j-1} \cdot u_{i,j} + A_{i,j} \cdot b_{i,j-1} - C_{i,j} \cdot u_{i,j} + B_{i,j} u_{i,j+1} &= -E_{i,j} \\ (A_{i,j} \cdot a_{i,j-1} - C_{i,j}) \cdot u_{i,j} &= -B_{i,j} u_{i,j+1} - (E_{i,j} + A_{i,j} \cdot b_{i,j-1}) \end{aligned}$$

Это будет в сторону равенства:

$$(C_{i,j} - A_{i,j} \cdot a_{i,j-1}) \cdot u_{i,j} = B_{i,j} u_{i,j+1} + (E_{i,j} + A_{i,j} \cdot b_{i,j-1})$$

Отсюда находим  $u_{i,j}$

$$u_{i,j} = \frac{B_{i,j}}{C_{i,j} - A_{i,j} \cdot a_{i,j-1}} \cdot u_{i,j+1} + \frac{E_{i,j} + A_{i,j} \cdot b_{i,j-1}}{C_{i,j} - A_{i,j} \cdot a_{i,j-1}} \quad (2.23)$$

(2.23) (2.22) по сравнению с  $a_{i,j}$  и  $b_{i,j}$  и будет в состоянии:

$$a_{i,j} = \frac{B_{i,j}}{C_{i,j} - A_{i,j} \cdot a_{i,j-1}}, \quad b_{i,j} = \frac{E_{i,j} + A_{i,j} \cdot b_{i,j-1}}{C_{i,j} - A_{i,j} \cdot a_{i,j-1}} \quad (2.24)$$

В промежутке ( $1 \leq j \leq n-1$ )  $A_{i,j}$ ,  $B_{i,j}$ ,  $C_{i,j}$ ,  $E_{i,j}$  находится по формуле (2.19), а  $a_{i,j}$  и  $b_{i,j}$  находится с помощью (2.24).

Хотя  $j = n$  значение внешней границы, в настоящее время изменилась  $j$  на  $n-1$  к 1 (2.22) или (2.23), чтобы узнать  $u_{i,j}$ .

Таким образом, мы (2.9) уравнение открыто схема адресации прогонки запись пользователя. Суть этого метода заключается в правильном пути и есть способы, чтобы обратить его вспять. С помощью метода (2.19)  $A_{i,j}, B_{i,j}, C_{i,j}, E_{i,j}$  (2.24) будет принято  $a_{i,j}, b_{i,j}$ .

Алгоритм в соответствии с приведенной выше формулой следующим образом (рисунок 2.3).

Теперь (2.9) в виде уравнения должны быть решены с помощью схемы, описанный настройки для  $x_i = i \cdot h$ ,  $t_j = j \cdot \tau$ ,  $u(x_i, t_j) = u_{i,j}$  каждого  $(x_i, t_j)$  внутреннего узла разницы образований заменить:

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right)_{i,j} \approx \frac{u_{i+1,j} - 2 \cdot u_{i,j} + u_{i-1,j}}{h^2} \quad (2.25)$$

Принимая эту аппроксимацию мы имеем следующий шаблон:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)_{i,j} \approx \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\tau}$$

(2.25) (2.9) следующим образом:

$$\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\tau} = \frac{u_{i+1,j} - 2 \cdot u_{i,j} + u_{i-1,j}}{h^2} \quad (2.26)$$

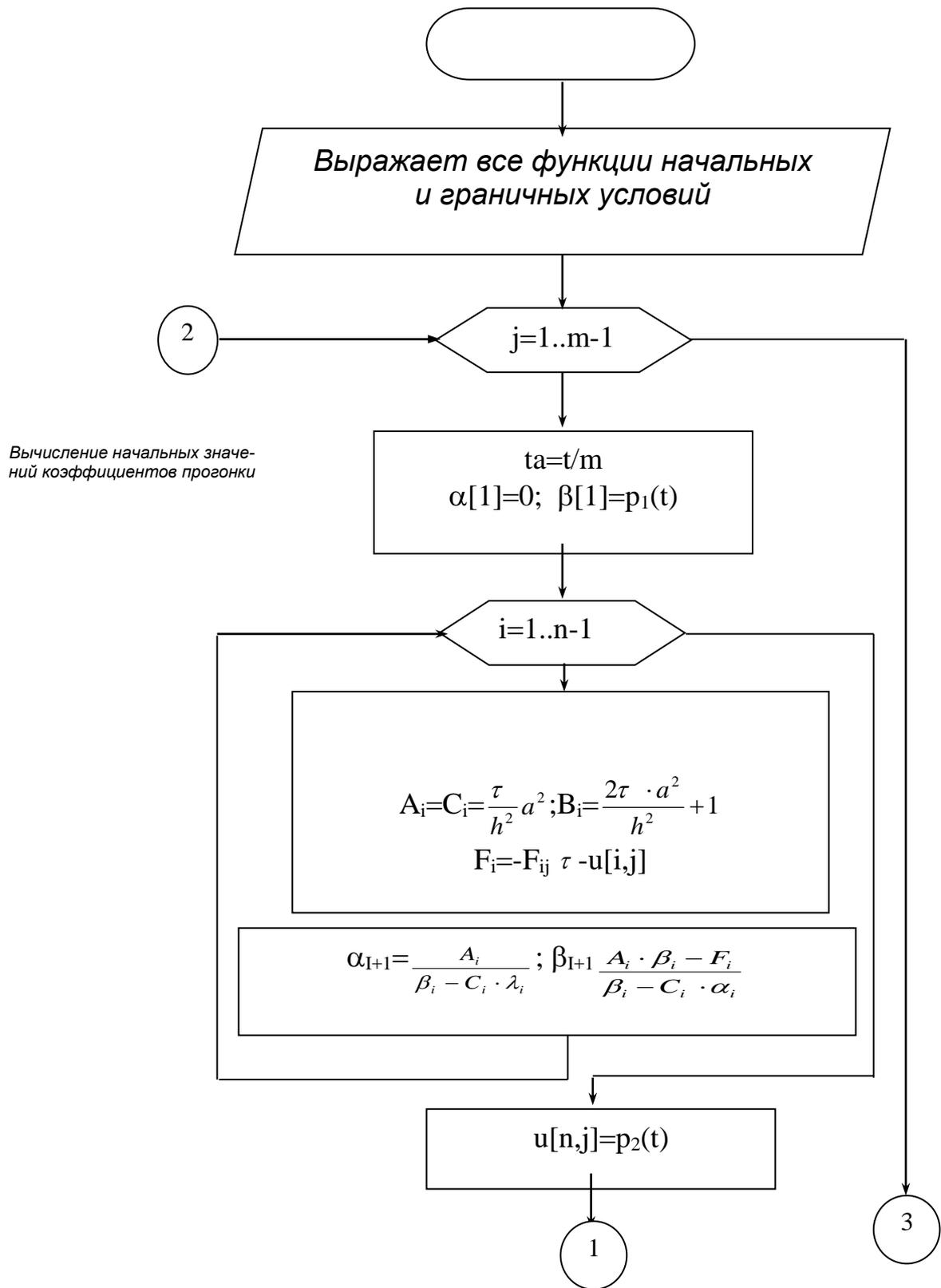


Рис.2.3. Блок-схема.

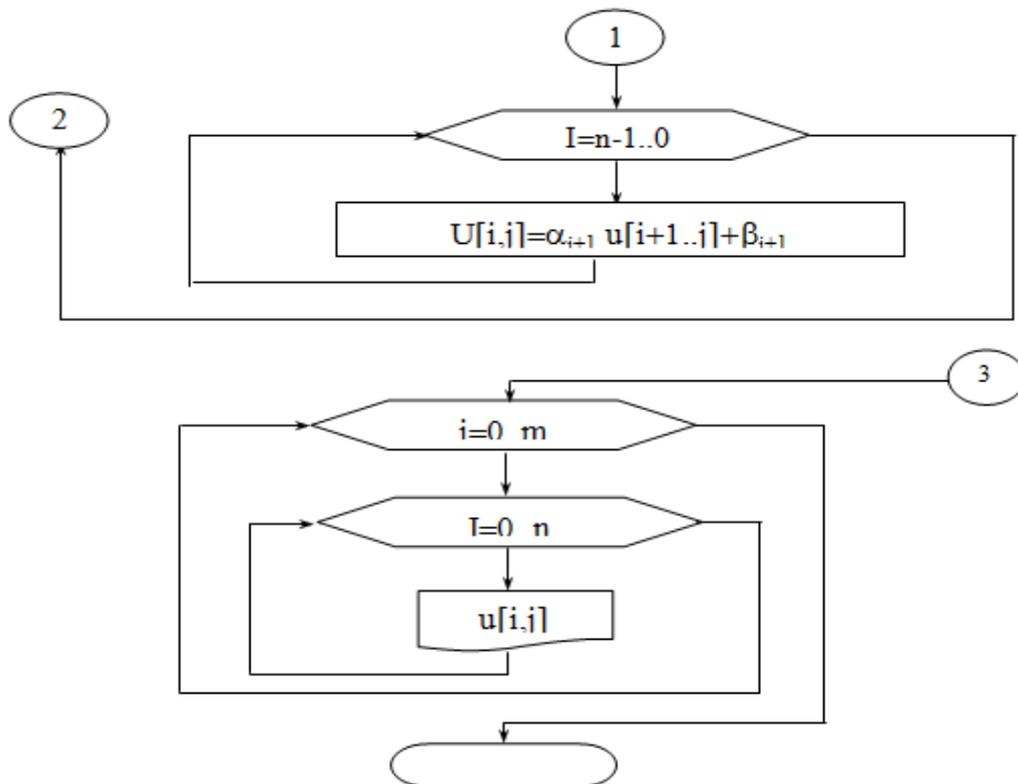


Рис.2.4. Алгоритм решения уравнения теплопроводности не явной схемой.

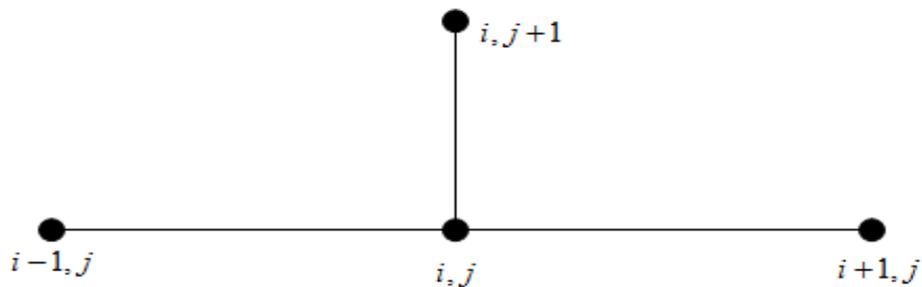


Рис.2.5. Шаблон для явной схемы.

умножим обе стороны уравнения (2.26) на  $\tau$  :

$$u_{i,j+1} - u_{i,j} = \frac{\tau}{h^2} \cdot (u_{i+1,j} - 2 \cdot u_{i,j} + u_{i-1,j}) \quad (2.27)$$

найдем  $u_{i,j+1}$  из (2.27):

$$u_{i,j+1} = u_{i,j} + \frac{\tau}{h^2} \cdot (u_{i+1,j} - 2 \cdot u_{i,j} + u_{i-1,j}) \quad (2.28)$$

если в (2.28) ввести обозначение  $\sigma = \frac{\tau}{h^2}$  будем иметь следующее:

$$u_{i,j+1} = u_{i,j} + \sigma \cdot (u_{i+1,j} - 2 \cdot u_{i,j} + u_{i-1,j}) \quad (2.29)$$

как показано в [7] уравнение (2.29) будет устойчивым если  $\sigma$  принимает значение в интервале  $0 < \sigma \leq 0,5$ .

Схемы распределения температуры в стержне может быть решен с помощью программы следующим образом:

```

a=0;b=1;t=1; h=(b-a)/n; ta=t/m;
for( i=0 i<n; i++)
{ x=a+i*h; u[i][0]=f1(x);
} for( j=0 ; j<m; j++) { t=j*ta; u[0][j]=p1(t); u[n][j]=p2(t);
} for( j=0; j<m-1; j++)
    for( i=1; i<n-1; i++){
        x=a+i*h; t=j*ta; u[i][j+1]=u[i][j]+(ta/(h*h))*(u[i+1][j]-2*u[i][j]+u[i-1][j])+ta*f(x,t);
    }
for( j=0 ; j<m; j++) { t=j*ta;
cout<<secprecision(2)<<fixed<<"t="<<t;
for( i=0 i<n; i++)
{ x=a+i*h;
cout<< secprecision(2)<<fixed<< u[i][j]<<" " << sqrt(x)+sqrt(t) <<" " <<
abs(u[i][j]-(sqrt(x)+sqrt(t)));
} } }

```

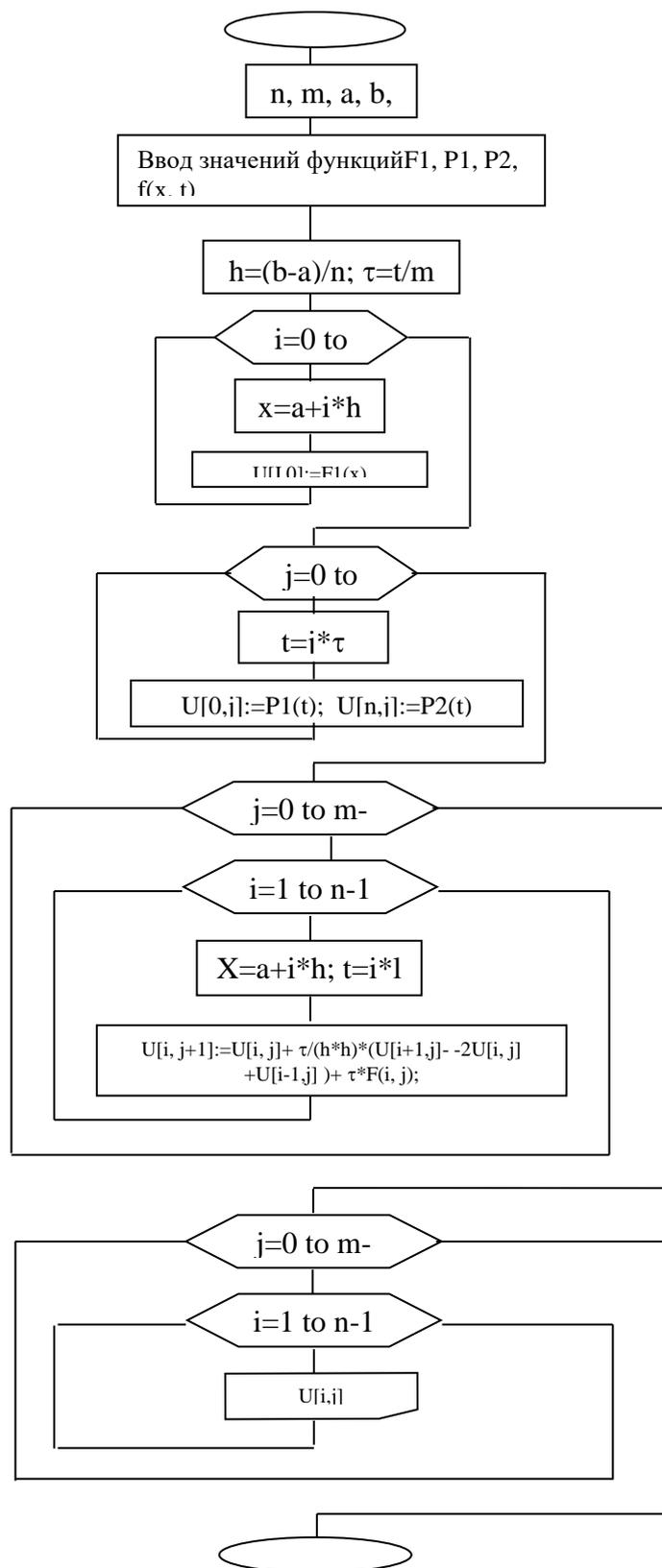


Рис.2.6. Алгоритм явной схемы.

Комментарии отражают процесс распределения температуры в стержне может быть частью программы являются:

```

al[1]=0; be[1]=T1;
for (i=1; i<n-1; i++)
{
  x=a+i*h;    ai=ta/(h*h);
  bi=2*ta/(h*h)+1;    ci=ta/(h*h);    {fi=-u[i][j];} FI=-U1[I];
  al[i+1]=ai/(bi-al[i]*ci);    be[i+1]=(ci*be[i]-fi)/(bi-al[i]*ci);
}
for (i=n-1; i>=0 ; i--)    U2[I]=AL[I+1]*U2[I+1]+BE[I+1];

```

### 2.3. Метод граничных элементов для решения начально-краевых задач уравнения теплопроводности

В этом параграфе рассматривается применение метода граничных элементов для численного решения начально-граничной задачи для одномерного, однородного уравнения теплопроводности. Используя результатов работы [9] получим экономичный алгоритм решения одномерного, однородного уравнения теплопроводности.

Пусть в неограниченной пластине толщины  $L = 0.3$  м действуют равномерно распределенные внутренние источники тепла мощностью  $Q(x)$ . Данные источники находятся в точках

$$Q(x) = \begin{cases} \frac{L}{4} \cdot q \text{ Вт} / \text{м}^3, & x = \frac{L}{4}; \\ \frac{L}{2} \cdot q \text{ Вт} / \text{м}^3, & x = \frac{L}{2}; \\ \frac{L}{4} \cdot q \text{ Вт} / \text{м}^3, & x = \frac{3L}{4}; \\ 0 \text{ Вт} / \text{м}^3, & x \notin A, \end{cases}$$

где  $q = 10^5 \text{ Вт} / \text{м}^4$ . Начальная температура  $T_0 = 15^0 \text{ C}$ . Материал пластины – серебро ( $(\lambda = 419 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot ^0 \text{C}), \rho = 10599 \text{ кг} / \text{м}^3, c = 200 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot ^0 \text{C}))$ ). На гра-

ницах  $x=0$  и  $x=L$  осуществляется теплообмен с окружающей средой ( $k = 59 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{гр.С})$ ,  $T^e = 60^\circ \text{С}$ ). Определим температурное поле.

Математическая постановка задачи выражается через одномерную, неоднородную уравнение теплопроводности

$$a^2 u_{xx} - u_t = Q(x), \quad 0 < x < 1, \quad 0 \leq t \leq T \quad (2.30)$$

с начальным

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad 0 \leq x \leq 1 \quad (2.31)$$

и граничными условиями

$$u(0, t) = \mu_1(t), u(1, t) = \mu_2(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (2.32)$$

которые выполняются в указанных областях изменения  $x, t$ .

**Метод граничных элементов.** Для численного решения граничной задачи используем интеграл взятый по всей области

$$\int_0^t \int_0^l (a^2 U_{xx} - U_t - Q(x, t)) W dx dt = 0. \quad (2.33)$$

Для полного определения состояния системы (2.33) запишем в следующем виде

$$\int_{t_j}^{t_{j+1}} \int_0^l (a^2 U_{xx} - U_t) W dx dt = \int_{t_j}^{t_{j+1}} \int_0^l Q(x, t) W dx dt, \quad j = 0, 1, 2, \dots \quad (2.34)$$

Интегрируя по частям по переменным  $x$  и  $t$  в левой части этого равенства получим

$$\int_{t_j}^{t_{j+1}} \int_0^l (a^2 W_{xx} - W_t) U dx dt + a^2 \int_{t_j}^{t_{j+1}} [U_x W - U W_x]_{x=0}^{x=l} dt + \int_0^l [U W]_{x=0}^{x=l} dx = \int_{t_j}^{t_{j+1}} \int_0^l Q(x, t) W dx dt, \quad j = 0, 1, 2, \dots \quad (2.35)$$

В (2.35) полагаем

$$a^2 W_{xx} - W_t = 0 \quad (2.36)$$

Тогда получим

$$a^2 \int_{t_j}^{t_{j+1}} [U_x W - U W_x]_{x=0}^{x=l} dt + \int_0^l [U W]_{x=0}^{x=l} dx = \int_{t_j}^{t_{j+1}} \int_0^l Q(x,t) W dx dt, \quad j = 0,1,2,\dots \quad (2.37)$$

Для того чтобы решение сходило рассматриваемая область делится на дискретные части. Только при этом найденное решение алгебраического уравнения может сходится

$$a^2 \int_{t_j}^{t_{j+1}} [U_x W - U W_x]_{x=0}^{x=l} dt + \int_0^l [U W]_{x=0}^{x=l} dx = \int_{t_j}^{t_{j+1}} \int_0^l Q(x,t) W dx dt, \quad j = 0,1,2,\dots$$

$$a^2 \left\{ \sum_{K=1}^N \left\{ \left( \int_{\tau_k}^{\tau_{k+1}} [W]_l dt \right) [U_x]_l^k - \left( \int_{\tau_k}^{\tau_{k+1}} [W]_0 dt \right) [U_x]_0^k \right\} - \right.$$

$$\left. \sum_{i=1}^N \left( \int_{x_i}^{x_{i+1}} [W]_{t_{j+1}} dx \right) [U]_{t_{j+1}}^i \right\} = -a^2 \left\{ \sum_{K=1}^N \left\{ \left( \int_{\tau_k}^{\tau_{k+1}} [W_x]_l dt \right) [U]_l^k - \right.$$

$$\left. - \left( \int_{\tau_k}^{\tau_{k+1}} [W_x]_0 dt \right) [U]_0^k \right\} - \sum_{i=1}^N \left\{ \left( \int_{x_i}^{x_{i+1}} [W]_{t_j} dx \right) [U]_{t_j}^i \right\},$$

$$j=0,1,2,3,\dots \quad (2.38)$$

Из интегрального уравнения (2.38) видно что число неизвестных в нем равно  $3N$ . Для нахождения этих неизвестных найдем весовые функции

$$W = \left\{ e^{\frac{(\pi n)^2}{l^2} t} \sin \frac{\pi n}{l} x, e^{\frac{(\pi n)^2}{l^2} t} \cos \frac{\pi n}{l} x \right\}, \quad n=1,2,\dots,N$$

подставляя которых в интегральное уравнение (2.38) получим систему алгебраических уравнений с  $(3N \times 3N)$  уравнений.

## **Заключение по главе 2**

Во второй главе посвященной построению конкретной модели для конкретного процесса теплопроводности с внешними источниками рассмотрены линейные задачи теплопроводности, которые описываются однородными уравнениями линейными уравнениями с начально-краевыми условиями. Линейные задачи с помощью конечно-разностной аппроксимации приводятся к алгебраическим уравнениям, которых можно решить явной и неявной схемой. Указывается недостатки явной схемы перед неявной схемой. Приводится постановка задачи конкретной задачи теплопроводности с внешним источником, которая решается с помощью интегральных уравнений или методом конечных элементов.

## **Глава III. ФОРМИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА НАЧАЛЬНО-ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

### **3.1. Описание программного обеспечения**

В связи с тем, что сегодня уровень сложности программного обеспечения очень высок, разработка приложений Windows с использованием только какого-либо языка программирования (например, языка C) значительно затрудняется. Программист должен затратить массу времени на решение стандартных задач по созданию многооконного интерфейса. Реализация технологии связывания и встраивания объектов - OLE - потребует от программиста еще более сложной работы.

Чтобы облегчить работу программиста практически все современные компиляторы с языка C++ содержат специальные библиотеки классов. Такие библиотеки включают в себя практически весь программный интерфейс Windows и позволяют пользоваться при программировании средствами более высокого уровня, чем обычные вызовы функций. За счет этого значительно упрощается разработка приложений, имеющих сложный интерфейс пользователя, облегчается поддержка технологии OLE и взаимодействие с базами данных.

Современные интегрированные средства разработки приложений Windows позволяют автоматизировать процесс создания приложения. Для этого используются генераторы приложений. Программист отвечает на вопросы генератора приложений и определяет свойства приложения - поддерживает ли оно многооконный режим, технологию OLE, трехмерные органы управления, справочную систему. Генератор приложений, создаст приложение, отвечающее требованиям, и предоставит исходные тексты. Пользуясь им

как шаблоном, программист сможет быстро разрабатывать свои приложения.

Подобные средства автоматизированного создания приложений включены в компилятор Microsoft Visual C++ и называются MFC AppWizard. Заполнив несколько диалоговых панелей, можно указать характеристики приложения и получить его тексты, снабженные обширными комментариями. MFC AppWizard позволяет создавать однооконные и многооконные приложения, а также приложения, не имеющие главного окна, - вместо него используется диалоговая панель. Можно также включить поддержку технологии OLE, баз данных, справочной системы.

Конечно, MFC AppWizard не всемогущ. Прикладную часть приложения программисту придется разрабатывать самостоятельно. Исходный текст приложения, созданный MFC AppWizard, станет только основой, к которой нужно подключить остальное. Но работающий шаблон приложения - это уже половина всей работы. Исходные тексты приложений, автоматически полученных от MFC AppWizard, могут составлять сотни строк текста. Набор его вручную был бы очень утомителен.

Нужно отметить, что MFC AppWizard создает тексты приложений только с использованием библиотеки классов MFC (Microsoft Foundation Class library). Поэтому только изучив язык C++ и библиотеку MFC, можно пользоваться средствами автоматизированной разработки и создавать свои приложения в кратчайшие сроки.

### **Некоторые сведения о программировании Windows-приложений**

MFC – это базовый набор (библиотека) классов, написанных на языке C++ и предназначенных для упрощения и ускорения процесса программирования под Windows. Перед изучением библиотеки MFC и ее использованием для создания Windows-приложений, следует вспомнить, как работает сама Windows и каковы принципы взаимодействия программ с ней, какова структура типичной Windows-программы.

## Программная среда Windows

Рассмотрим наиболее важные моменты работы Windows и принципы взаимодействия программ с ней.

### Интерфейс вызовов функций в Windows

Благодаря данному интерфейсу доступ к системным ресурсам осуществляется через целый ряд системных функций. Совокупность таких функций называется прикладным программным интерфейсом, или API (Application Programming Interface). Для взаимодействия с Windows приложение запрашивает функции API, с помощью которых реализуются все необходимые системные действия, такие как выделение памяти, вывод на экран, создание окон и т.п.

Библиотека MFC инкапсулирует многие функции API. Хотя программам и разрешено обращаться к ним напрямую, все же чаще это будет выполняться через соответствующие функции-члены. Как правило, функции-члены либо аналогичны функциям API, либо непосредственно обращаются к нужной части интерфейса.

### Библиотеки динамической загрузки (DLL)

Поскольку API состоит из большого числа функций, может сложиться впечатление, что при компиляции каждой программы, написанной для Windows, к ней подключается код довольно значительного объема. В действительности это не так. Функции API содержатся в *библиотеках динамической загрузки* (Dynamic Link Libraries, или DLL), которые загружаются в память только в тот момент, когда к ним происходит обращение, т.е. при выполнении программы. Рассмотрим, как осуществляется механизм динамической загрузки.

Динамическая загрузка обеспечивает ряд существенных преимуществ. Во-первых, поскольку практически все программы используют API-функции, то благодаря DLL-библиотекам существенно экономится дисковое пространство, которое в противном случае занималось бы большим количеством по-

вторяющегося кода, содержащегося в каждом из исполняемых файлов. Во-вторых, изменения и улучшения в Windows-приложениях сводятся к обновлению только содержимого DLL-библиотек. Уже существующие тексты программ не требуют перекомпиляции.

### **Интерфейс GDI**

Одним из подмножеств API является GDI (Graphics Device Interface – интерфейс графического устройства). GDI – это та часть Windows, которая обеспечивает поддержку аппаратно-независимой графики. Благодаря функциям GDI Windows-приложение может выполняться на самых различных компьютерах.

### **Преимущества использования MFC**

Как уже упоминалось, MFC – это базовый набор (библиотека) классов, написанных на языке C++ и предназначенных для упрощения и ускорения процесса программирования для Windows. Библиотека содержит многоуровневую иерархию классов, насчитывающую около 200 членов. Они дают возможность создавать Windows-приложения на базе объектно-ориентированного подхода. С точки зрения программиста, MFC представляет собой каркас, на основе которого можно писать программы для Windows.

Библиотека MFC разрабатывалась для упрощения задач, стоящих перед программистом. Как известно, традиционный метод программирования под Windows требует написания достаточно длинных и сложных программ, имеющих ряд специфических особенностей. В частности, для создания только каркаса программы таким методом понадобится около 75 строк кода. По мере же увеличения сложности программы ее код может достигать поистине невероятных размеров. Однако та же самая программа, написанная с использованием MFC, будет примерно в три раза меньше, поскольку большинство частных деталей скрыто от программиста.

Одним из основных преимуществ работы с MFC является возможность многократного использования одного и того же кода. Так как библиотека со-

держит много элементов, общих для всех Windows-приложений, нет необходимости каждый раз писать их заново. Вместо этого их можно просто наследовать (говоря языком объектно-ориентированного программирования). Кроме того, интерфейс, обеспечиваемый библиотекой, практически независим от конкретных деталей, его реализующих. Поэтому программы, написанные на основе MFC, могут быть легко адаптированы к новым версиям Windows (в отличие от большинства программ, написанных обычными методами).

Еще одним существенным преимуществом MFC является упрощение взаимодействия с прикладным программным интерфейсом (API) Windows. Любое приложение взаимодействует с Windows через API, который содержит несколько сот функций. Внушительный размер API затрудняет попытки понять и изучить его целиком. Зачастую даже сложно проследить, как отдельные части API связаны друг с другом! Но поскольку библиотека MFC объединяет (путем инкапсуляции) функции API в логически организованное множество классов, интерфейсом становится значительно легче управлять.

Поскольку MFC представляет собой набор классов, написанных на языке C++, поэтому программы, написанные с использованием MFC, должны быть в то же время программами на C++. Для этого необходимо владеть соответствующими знаниями. Для начала необходимо уметь создавать собственные классы, понимать принципы наследования и уметь переопределять виртуальные функции. Хотя программы, использующие библиотеку MFC, обычно не содержат слишком специфических элементов из арсенала C++, для их написания тем не менее требуются солидные знания в данной области.

### **Обзор среды Microsoft Developer Studio**

Студия разработчика фирмы Microsoft (Microsoft Developer Studio) - это интегрированная среда для разработки, позволяющая функционировать различным средам разработки, одна из которых Visual C++, другая - Visual J++. В дальнейшем будет идти речь только о среде разработки Visual C++.

В студии разработчика можно строить обычные программы на С и С++, создавать статические и динамические библиотеки, но основным режимом работы является создание Windows-приложений с помощью инструмента MFC AppWizard (Application Wizard - мастер приложений) и библиотеки базовых классов MFC (Microsoft Foundation Class Library). Такие приложения называются MFC-приложениями. Главная особенность этих Windows-приложений состоит в том, что они работают как совокупность взаимодействующих объектов, классы которых определены библиотекой MFC.

### **Библиотека MFC**

Главная часть библиотеки MFC состоит из классов, используемых для построения компонентов приложения. С каждым MFC-приложением связывается определяющий его на верхнем уровне объект the App, принадлежащий классу, производному от CWinApp.

Как правило, структура приложения определяется архитектурой Document-View (документ-облик). Это означает, что приложение состоит из одного или нескольких документов - объектов, классы которых являются производными от класса CDocument (класс "документ"). С каждым из документов связаны один или несколько обликков - объектов классов, производных от CView (класс "облик ") и определяющих облик документа.

Класс CFrameWnd ("окна-рамки") и производные от него определяют *окна-рамки* на дисплее. *Элементы управления*, создаваемые при проектировании интерфейса пользователя, принадлежат семейству классов элементов управления. Появляющиеся в процессе работы приложения *диалоговые окна* - это объекты классов, производных от CDialog.

Классы CView, CFrameWnd, CDialog и все классы элементов управления наследуют свойства и поведение своего базового класса CWnd ("окно"), определяющего по существу Windows-окно. Этот класс в свою очередь является наследником базового ласса CObject ("объект").

Одна из трудностей в понимании принципов устройства MFC-приложения, заключается в том, что объекты, из которых оно строится, наследуют свойства и поведение всех своих предков, поэтому необходимо знать базовые классы.

### **Архитектура приложения**

У всех Windows-приложений фиксированная структура, определяемая функцией WinMain. Структура приложения, построенного из объектов классов библиотеки MFC, является еще более определенной.

Приложение состоит из объекта theApp, функции WinMain, и некоторого количества других объектов. Сердцевина приложения - объект theApp - отвечает за создание всех остальных объектов и обработку очереди сообщений. Объект theApp является глобальным и создается еще до начала работы функции WinMain. Работа функции WinMain заключается в последовательном вызове двух методов объекта theApp: InitInstance и Run. В терминах сообщений можно сказать, WinMain посылает объекту theApp сообщение InitInstance, которое приводит в действие метод InitInstance.

Получив сообщение InitInstance, theApp создает внутренние объекты приложения. Процесс создания выглядит как последовательное порождение одних объектов другими. Набор объектов, порождаемых в начале этой цепочки, определен структурой MFC практически однозначно - это главная рамка, шаблон, документ, облик. Их роли в работе приложения будут обсуждаться позже.

Следующее сообщение, получаемое theApp, - Run - приводит в действие метод Run. Оно как бы говорит объекту: "Начинай работу, начинай процесс обработки сообщений из внешнего мира". Объект theApp циклически выбирает сообщения из очереди и инициирует обработку сообщений объектами приложения.

Некоторые объекты имеют графический образ на экране, с которым может взаимодействовать пользователь. Эти *интерфейсные объекты* обычно

связаны с Windows-окном. Среди них особенно важны главная рамка и облик. Именно им объект прежде всего распределяет сообщения из очереди через механизм Windows-окон и функцию Dispatch.

Когда пользователь выбирает команду меню окна главной рамки, то возникают командные сообщения. Они отправляются сначала объектом theApp объекту главная рамка, а затем обходят по специальному маршруту целый ряд объектов, среди которых первыми являются документ и облик, информируя их о пришедшей от пользователя команде.

При работе приложения возникают и обычные вызовы одними объектами методов других объектов. В объектно-ориентированной терминологии такие вызовы могут называться *сообщениями*. В Visual C++ некоторым методам приписан именно этот статус (например, методу OnDraw).

Важное значение имеют также объекты документ, облик и главная рамка. Здесь отметим только, что *документ* содержит данные приложения, *облик* организует представление этих данных на экране, а окно *главной рамки* - это окно, внутри которого размещены все остальные окна приложения.

### **Каркас приложения**

Наследование - одна из фундаментальных идей объектно-ориентированного программирования. Именно этот механизм наследования позволяет программисту дополнять и переопределять поведение базового класса, не вторгаясь в библиотеку MFC, которая остается неизменной. Все изменения делаются в собственном производном классе. Именно в этом и заключается работа программиста.

Объекты, из которых состоит приложение, являются объектами классов, производных от классов библиотеки MFC. Разработка приложения состоит в том, что программист берет из библиотеки MFC классы CWinApp, CFrameWnd, CDocument, CView и т.д. и строит производные классы. Приложение создается как совокупность объектов этих производных классов. Каждый объект несет в себе как наследуемые черты, определяемые базовыми

классами, так и новые черты, добавленные программистом. Наследуемые черты определяют общую схему поведения, свойственную таким приложениям. Новые же черты позволяют реализовать специфические особенности поведения приложения, необходимые для решения стоящей перед ним задачи.

При определении производного класса программист может:

- переопределить некоторые методы базового класса, причем те методы, что не были переопределены, будут наследоваться в том виде, в каком они существуют в базовом классе;
- добавить новые методы;
- добавить новые переменные.

Приложение, построенное на основе библиотеки MFC, - "айсберг", большая часть которого невидима, но является основой всего приложения. Часть приложения, лежащую в библиотеке MFC, - framework - называется каркасом приложения. Рассмотрим работу приложения как процесс взаимодействия между каркасом и частью приложения, разработанной программистом. Совершенно естественно, что в методах, определенных программистом, могут встречаться вызовы методов базового класса, что вполне можно рассматривать как вызов функции из библиотеки. Важнее, однако, что и метод производного класса, определенный программистом, может быть вызван из метода родительского класса. Другими словами, каркас и производный класс в этом смысле равноправны - их методы могут вызывать друг друга. Такое равноправие достигается благодаря *виртуальным методам и полиморфизму*, имеющимся в арсенале объектно-ориентированного программирования.

Если метод базового класса объявлен *виртуальным* и разработчик переопределил его в производном классе, это значит, что при вызове данного метода в некоторой *полиморфной функции* базового класса в момент исполнения будет вызван метод производного класса и, следовательно, каркас вы-

зывает метод, определенный программистом. Точнее говоря, обращение к этому методу должно производиться через ссылку на производный объект либо через объект, являющийся формальным параметром и получающий при вызове в качестве своего значения объект производного класса. Когда вызывается виртуальный метод M1, переопределенный разработчиком, то согласно терминологии Visual C++, каркас посылает сообщение M1 объекту производного класса, а метод M1 этого объекта обрабатывает это сообщение. Если сообщение M1 послано объекту производного класса, а обработчик этого сообщения не задан программистом, объект наследует метод M1 ближайшего родительского класса, в котором определен этот метод. Если же обработчик такого сообщения создан программистом, он автоматически отменяет действия, предусмотренные родительским классом в отсутствие этого обработчика.

### **Каркас приложений**

С Visual C++ тесно связано еще одно понятие - каркас приложений, которое близко и созвучно понятию каркаса приложения, но в отличие от него относится не к одному конкретному приложению, а к библиотеке, с помощью которой строятся многие приложения. Каркас приложений - это библиотека классов, из которых программист берет не только набор классов, играющих роль дополнительных типов данных, но и классы, служащие строительными блоками приложения на самом верхнем уровне. С этой точки зрения, каркас приложения является частью каркаса приложений, относящейся к данному приложению. Примеры каркасов приложений - библиотеки классов MFC и OWL.

### **Проект приложения**

О принципах устройства приложения рассказывалось выше. Теперь рассмотрим, как оно создается с помощью Visual C++. Сначала разберем одно важное понятие - проект. До сих пор приложение рассматривалось, как

только как совокупность объектов базовых и производных классов. Но для обеспечения работы приложения требуется нечто большее - наряду с описанием классов необходимо описание ресурсов, связанных с приложением, нужна справочная система и т.п. Термин "проект" как раз и используется, когда имеется в виду такой более общий взгляд на приложение.

В среде Visual C++ можно строить различные типы проектов. Такие проекты после их создания можно компилировать и запускать на исполнение. Фирма Microsoft разработала специальный инструментарий, облегчающий и ускоряющий создание проектов в среде Visual C++. Например, мастер MFC AppWizard (exe) позволяет создать проект Windows-приложения которое имеет однодокументный, многодокументный или диалоговый интерфейс и использует библиотеку MFC.

Создаваемый остов приложения составлен так, что в дальнейшей работе с проектом можно использовать другое инструментальное средство - ClassWizard (мастер классов), предназначенное для создания остовов новых производных классов. Еще одно основное назначение ClassWizard в том, что он создает остовы для переопределяемых методов. Он позволяет показать все сообщения, приходящие классу, и создать остов обработчика любого из этих сообщений. Это только две основные функции ClassWizard. Он не всемогущ, но его возможности довольно велики.

### **Использование средств разработки**

В состав компилятора Microsoft Developer Studio встроены средства, позволяющие программисту облегчить разработку приложений. В первую очередь к ним относятся MFC AppWizard, ClassWizard и редактор ресурсов.

Благодаря MFC AppWizard среда разработчика позволяет быстро создавать шаблоны новых приложений. При этом программисту не приходится писать ни одной строчки кода. Достаточно ответить на ряд вопросов, касающихся того, какое приложение требуется создать, и исходные тексты шабло-

на приложения вместе с файлами ресурсов готовы. Эти тексты можно оттранслировать и получить готовый загрузочный модуль приложения.

Конечно, никакие средства автоматизированной разработки не смогут создать программу полностью без участия программиста. Прикладную часть приложения придется разрабатывать ему.

Для создания ресурсов приложения предназначен редактор ресурсов. Он позволяет быстро создавать новые меню, диалоговые панели, добавлять кнопки к панели управления toolbar и т.д.

Средство ClassWizard позволяет подключить к созданным и отредактированным ресурсам управляющий ими код. Большую часть работы по описанию и определению функций, обрабатывающих сообщения от меню, органов управления диалоговых панелей и т.д., также берет на себя средство ClassWizard.

### **Типы мастеров проектов**

В среде Visual C++ можно строить различные типы проектов. Такие проекты после их создания можно компилировать и запускать на исполнение. Фирма Microsoft разработала специальный инструментарий, облегчающий и ускоряющий создание проектов в среде Visual C++.

Рассмотрим некоторые типы проектов, которые можно создавать при помощи различных средств (мастеров проектов) Microsoft Visual C++:

MFC AppWizard (exe) – при помощи мастера приложений можно создать проект Windows-приложения которое имеет однодокументный, многодокументный или диалоговый интерфейс. Однодокументное приложение может предоставлять пользователю в любой момент времени работать только с одним файлом. Многодокументное приложение, напротив, может одновременно представлять несколько документов, каждый в собственном окне. Пользовательский интерфейс диалогового приложения представляет собой единственное диалоговое окно.

MFC AppWizard (dll) – этот мастер приложений позволяет создать структуру DLL, основанную на MFC. При помощи него можно определить характеристики будущей DLL.

AppWizard ATL COM – это средство позволяет создать элемент управления ActiveX или сервер автоматизации, используя новую библиотеку шаблонов ActiveX (ActiveX Template Library - ATL). Опции этого мастера дают возможность выбрать активный сервер (DLL) или исполняемый внешний сервер (exe-файл).

Custom AppWizard – при помощи этого средства можно создать пользовательские мастера AppWizard. Пользовательский мастер может базироваться на стандартных мастерах для приложений MFC или DLL, а также на существующих проектах или содержать только определяемые разработчиком шаги.

DevStudio Add-in Wizard – мастер дополнений позволяет создавать дополнения к Visual Studio. Библиотека DLL расширений может поддерживать панели инструментов и реагировать на события Visual Studio.

MFC ActiveX ControlWizard - мастер элементов управления реализует процесс создания проекта, содержащего один или несколько элементов управления ActiveX, основанных на элементах управления MFC.

Win32 Application – этот мастер позволяет создать проект обычного Window-приложения. Проект создается незаполненным, файлы с исходным кодом в него следует добавлять вручную.

Win32 Console Application – мастер создания проекта консольного приложения. Консольная программа – это программа, которая выполняется из командной строки окна DOS или Windows и не имеет графического интерфейса (окон). Проект консольного приложения создается пустым, предполагая добавление файлов исходного текста в него вручную.

Win32 Dynamic-Link Library – создание пустого проекта динамически подключаемой библиотеки. Установки компилятора и компоновщика будут настроены на создание DLL. Исходные файлы следует добавлять вручную.

Win32 Static Library – это средство создает пустой проект, предназначенный для генерации статической (объектной) библиотеки. Файлы с исходным кодом в него следует добавлять вручную.

### **Преимущества мастеров проектов**

Рассмотрим преимущества использования мастеров в процессе создания приложений. Прежде всего, нужно отметить, что создание проекта - это не только творчество, но и большой объем технической работы, требующей внимания и аккуратности.

Например, все Windows-приложения имеют достаточно общую структуру, и, следовательно, можно построить некоторые шаблонные заготовки, подходящие для того или иного типа проектов. Построению таких заготовок способствует то, что приложения, создаваемые на основе MFC, строятся из элементов фиксированных классов. Логическим развитием этой идеи было введение специальных классов и специальной архитектуры построения приложения, которая подходила бы широкому классу приложений. О такой архитектуре уже упоминалось, когда речь шла о библиотеке MFC, - это архитектура Document-View. Она является основной, но не единственной при построении проектов в среде Visual C++.

Суть этой архитектуры в том, что работу многих приложений можно рассматривать как обработку документов. При этом можно отделить сам документ, отвечающий за представление и хранение данных, от образа этого документа, видимого на экране и допускающего взаимодействие с пользователем, который просматривает и (или) редактирует документ. В соответствии с этой архитектурой библиотека MFC содержит два семейства классов, производных от базовых классов CDocument и CView.

В результате появилась двухэтапная технология создания проектов. Вначале создается некая заготовка проекта с общими свойствами, подходящими для многих проектов этого типа. На втором этапе производится уже настройка, учитывающая специфику задачи. Для каждого этапа фирма Microsoft разработала свое инструментальное средство.

Начальная заготовка - остов приложения - создается в диалоге с пользователем инструментальным средством AppWizard. В процессе диалога пользователь определяет тип и характеристики проекта, который он хочет построить. Определив, какие классы из MFC необходимы для этого проекта, AppWizard строит остовы всех нужных производных классов. Построенный AppWizard остов приложения содержит все необходимые файлы для создания *стартового приложения*, которое является законченным приложением и обладает разумными функциональными свойствами, общими для целого класса приложений. Естественно, никаких специфических для данного приложения свойств остов не содержит. Они появятся на следующем этапе, когда программист начнет работать с остовом, создавая из заготовки свое собственное приложение. Тем не менее стартовое приложение можно транслировать и запускать на исполнение.

Термин *остов* (приложения, класса, функции) применяется для заготовок, создаваемых инструментальными средствами AppWizard и ClassWizard. Нужно подчеркнуть - остов приложения и каркас приложения - разные понятия.

Создаваемый остов приложения составлен так, что в дальнейшей работе с проектом можно использовать другое инструментальное средство - ClassWizard (мастер классов).

## Обзор возможностей Class Wizard

Средство ClassWizard предоставляет широкий спектр услуг. Он позволяет не только добавлять к существующему классу новые методы и данные.

Создание нового класса. При помощи Class Wizard можно добавить новый класс, созданный на основе базовых классов. В качестве базового класса можно использовать классы, наследованные от класса CCmdTarget или класса CRecordset. Для наследования классов от других базовых классов использовать средства Class Wizard нельзя. Такие классы надо создавать вручную, непосредственно в текстовом редакторе.

Объекты, порожденные от класса CCmdTarget, могут обрабатывать сообщения Windows и команды, поступающие от меню, кнопок, акселераторов. Класс CCmdTarget и другие наследованные от него классы имеют таблицу сообщений (Message Map) - набор макрокоманд, позволяющий сопоставить сообщения Windows и команды метода класса.

Полученная заготовка класса полностью работоспособна. Ее можно дополнить по своему усмотрению новыми методами и данными. Эту работу можно выполнить вручную, но гораздо лучше и проще воспользоваться услугами Class Wizard. За счет использования Class Wizard процедура создания собственного класса значительно ускоряется и уменьшается вероятность совершить ошибку во время объявления методов.

**Включение в класс новых методов.** Очень удобно использовать Class Wizard для включения в состав класса новых методов. Можно добавлять к классу методы, служащие для обработки сообщений Windows и команд от объектов, а также методы, переопределяющие виртуальные методы базовых классов.

ClassWizard не только позволяет добавить в класс новые методы, но и удалить их. ClassWizard самостоятельно удалит объявление метода из класса.

**Включение в класс новых элементов данных.** ClassWizard позволяет включать в класс не только новые методы, но и элементы данных, связанные

с полями диалоговых панелей, форм просмотра и форм для просмотра записей баз данных и полей наборов записей. Class Wizard использует специальные процедуры, чтобы привязать созданные им элементы данных к классам к полям диалоговых панелей. Эти процедуры носят названия "обмен данными диалоговой панели" и "проверка данных диалоговой панели" (Dialog Data Exchange and Dialog Data Validation - DDX/DDV). Чтобы привязать поля из наборов записей к переменным, используется процедура обмена данными с полями записей (Record Field Exchange - RFX).

Процедуры DDX/DDV и RFX значительно упрощают программисту работу с диалоговыми панелями. Они позволяют связать поля диалоговых панелей и переменные. Когда пользователь редактирует поля диалоговых панелей, процедуры DDV проверяют введенные значения и блокируют ввод запрещенных значений. Затем процедуры DDX автоматически копируют содержимое полей диалоговых панелей в привязанные к ним элементы данных класса. И наоборот, когда приложение изменяет элементы данных класса, привязанные к полям диалоговой панели, процедуры DDX могут сразу отобразить новые значения полей на экране компьютера.

### **Имена, используемые в MFC**

Библиотека MFC содержит большое количество классов, структур, констант и т.д. Для того, чтобы текст MFC-приложений был более легким для понимания, принято применять ряд соглашений для используемых имен и комментариев.

Названия всех классов и шаблонов классов библиотеки MFC начинаются с заглавной буквы С. При наследовании классов от классов MFC можно давать им любые имена. Рекомендуется начинать их названия с заглавной буквы С. Это сделает исходный текст приложения более ясным для понимания.

Чтобы отличить элементы данных, входящих в класс, от простых переменных, их имена принято начинать с префикса m. Названия методов клас-

сов, как правило, специально не выделяются, но обычно их начинают с заглавной буквы.

Библиотека MFC включает в себя, помимо классов, набор служебных функций. Названия этих функций начинаются с символов Afx, например AfxGetApp. Символы AFX являются сокращением от словосочетания Application FrameworkX, означающих основу приложения, его внутреннее устройство.

Символы AFX встречаются не только в названии функций MFC. Многие константы, макрокоманды и другие символы начинаются с этих символов. В общем случае AFX является признаком, по которому можно определить принадлежность того или иного объекта (функция, переменная, ключевое слово или символ) к библиотеке MFC.

Когда приложение разрабатывается средствами MFC App Wizard и Class Wizard, они размещают в исходном тексте приложения комментарии следующего вида:

```
//{{AFX_ ... //}}AFX_
```

Такие комментарии образуют блок кода программы, который управляется только средствами MFC App Wizard и Class Wizard. Пользователь не должен вручную вносить изменения в этом блоке. Для этого необходимо употреблять средства Class Wizard.

В следующей таблице представлено краткое описание некоторых блоков //{{AFX\_:

Блок	Описание
//{{AFX_DATA //}}AFX_DATA	Включает объявление элементов данных класса. Используется в описании классов диалоговых панелей.
//{{AFX_DATA_INIT	Включает инициализацию элементов данных

//}}AFX_DATA_INIT	класса. Используется в файле реализации классов диалоговых панелей.
//{{AFX_DATA_MAP //}}AFX_DATA_MAP	Включает макрокоманды DDX, предназначенные для связывания элементов данных класса и органов управления диалоговых панелей. Используется в файле реализации классов диалоговых панелей.
//{{AFX_MSG //}}AFX_MSG	Включает описание методов, которые предназначены для обработки сообщений. Этот блок используется при описании класса.
//{{AFX_MSG_MAP //}}AFX_MSG_MAP	Включает макрокоманды таблицы сообщений класса. Используются совместно с AFX_MSG.
//{{AFX_VIRTUAL //}}AFX_VIRTUAL	Включает описание переопределенных виртуальных методов класса. Блок AFX_VIRTUAL используется при описании класса.

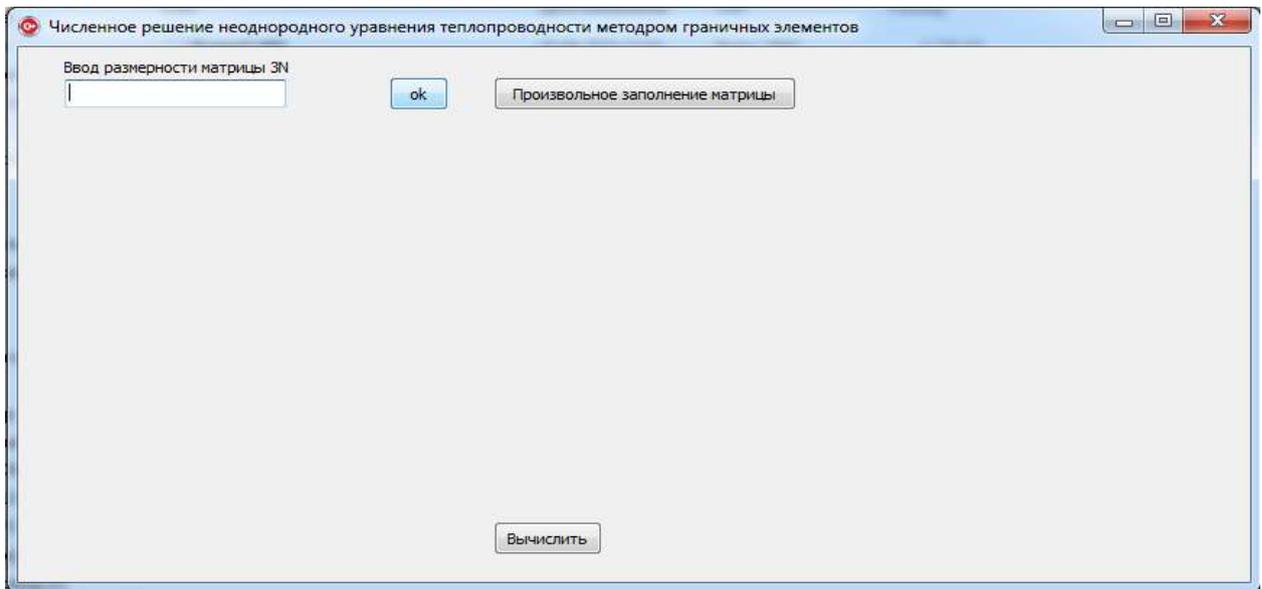
MFC App Wizard и Class Wizard помогают разрабатывать приложения. Они создают все классы и методы, необходимые для его работы. Программисту остается дописать к ним свой код. В тех местах, где можно вставить свой код, MFC App Wizard и Class Wizard, как правило помещают комментарии:

//TODO:

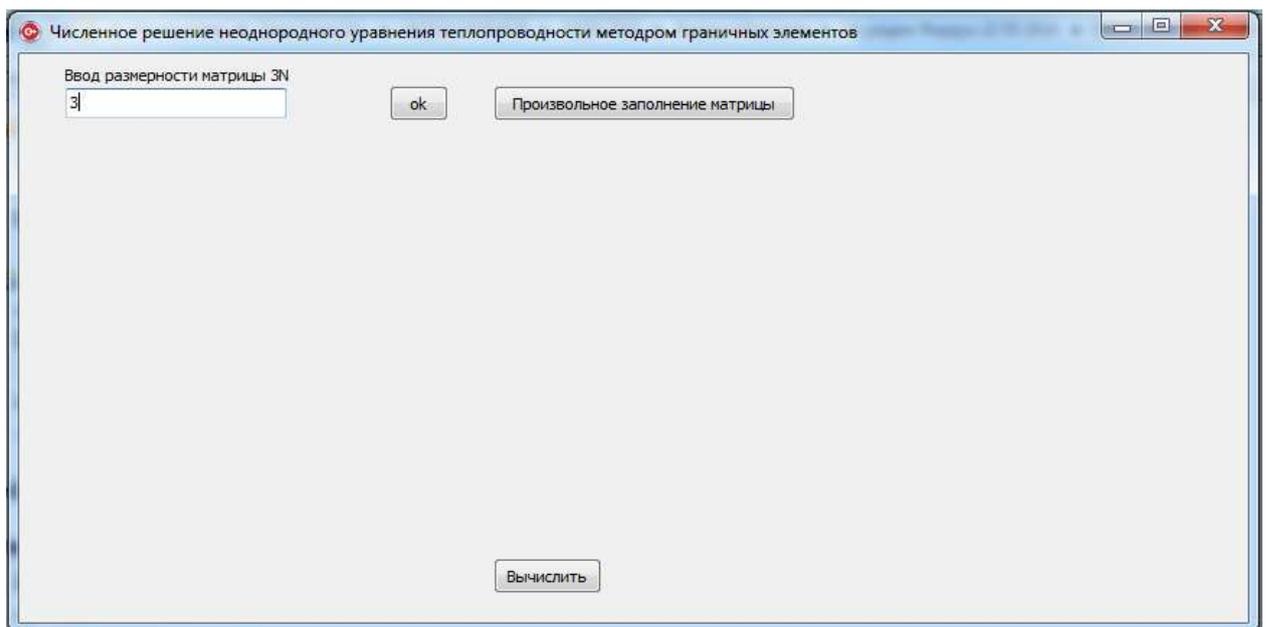
Для того что бы перейти к Visual C++, целесообразно получить некоторое представление о просто языке C++, так как он является базовым.

### 3.2. Порядок использования программного обеспечения

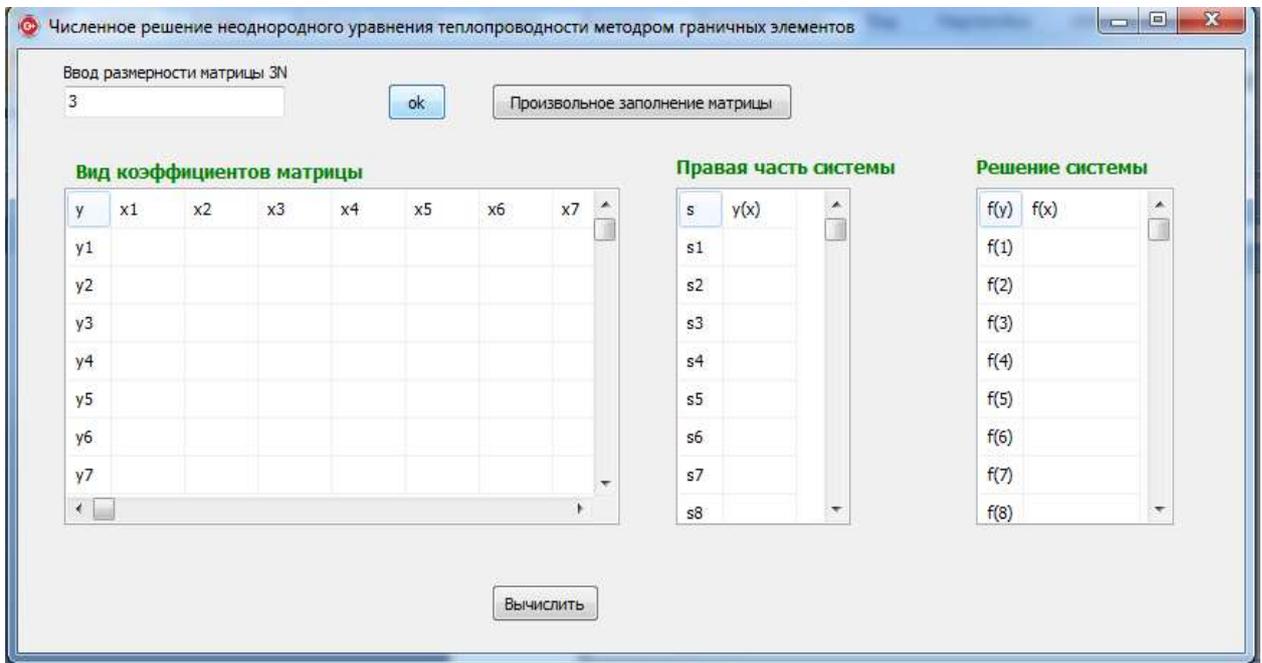
При открытии программы численного решения уравнения теплопроводности методом граничных элементов открывается следующее окно:



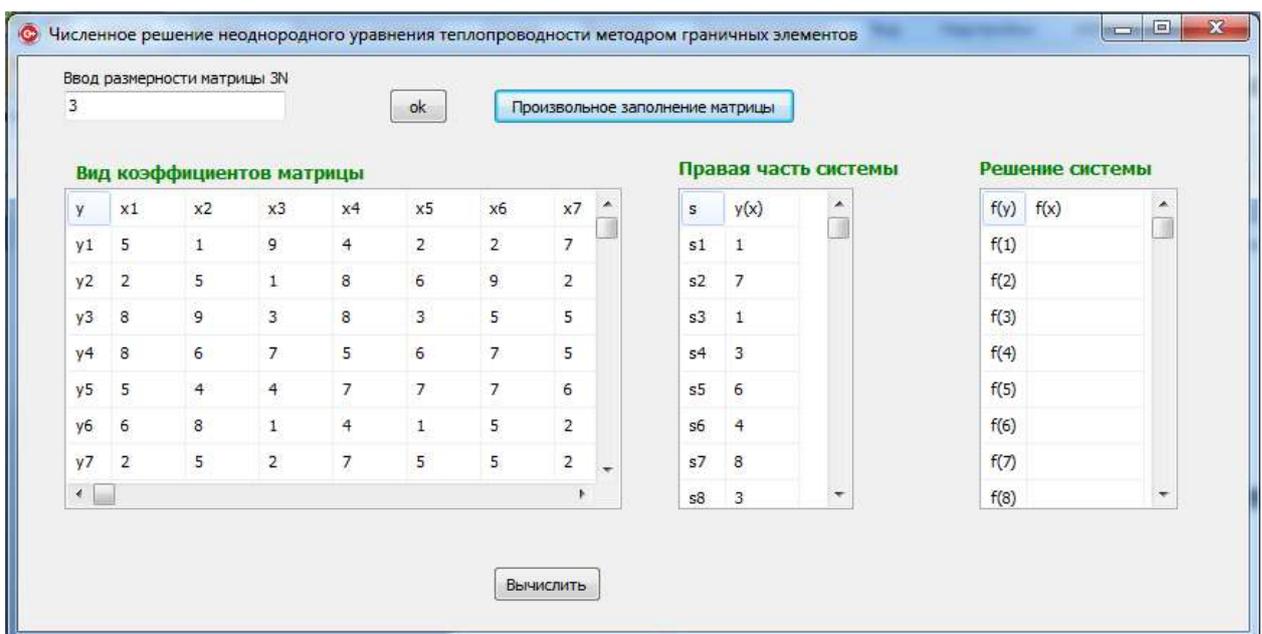
В этом окне расположены кнопки: «Ввод размерности матрицы», «Ok», «Произвольное заполнение матрицы 3N», «Вычислить». Заполняем к кнопку размерности матрицы, например вводим 3 т.е. мы делим отрезок на 3 части.



При этом число неизвестных равно 9, в новом окне появляются 3 кнопки «Вид коэффициентов матрицы», «Правая часть системы», «Решение системы»

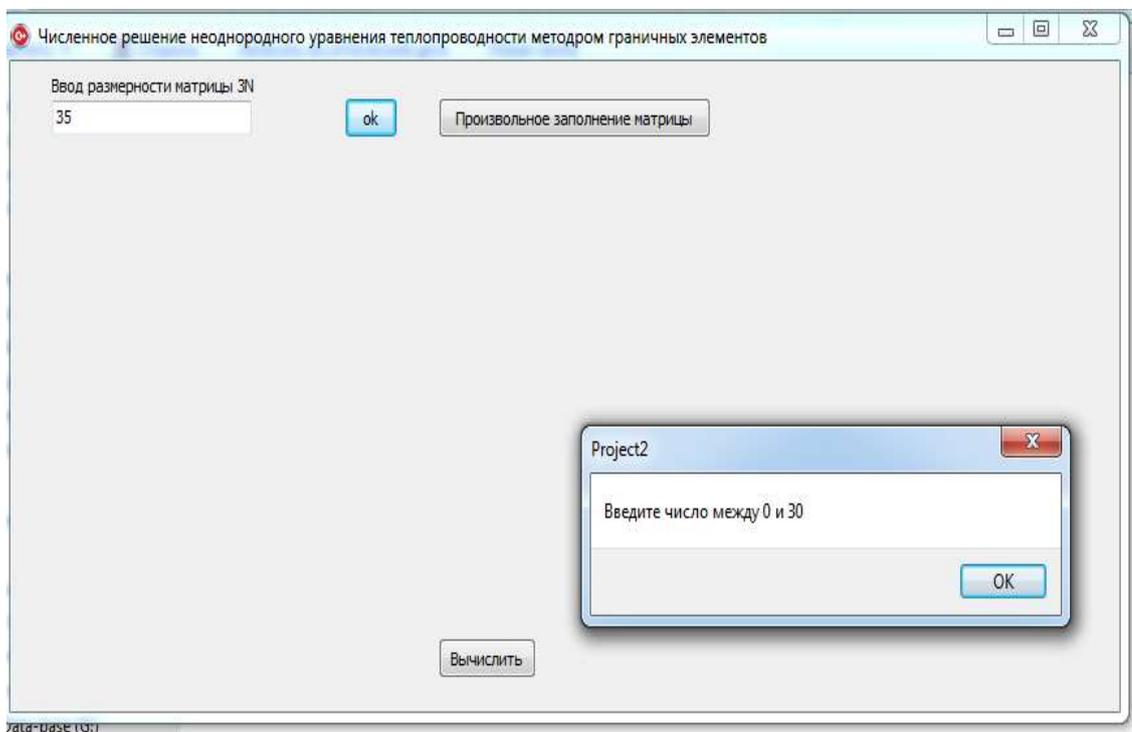


вычисляя каждый элемент матрицы  $9 \times 9$  вводим соответствующее число в матрицу. Можно воспользоваться кнопкой «Произвольное заполнение матрицы».



### 3.3. Тестирование программы и анализ результатов

При тестировании программы решения начально-краевой задачи для неоднородного уравнения теплопроводности методом граничных элементов сведением его в систему алгебраических уравнений и решением системы методом Гаусса использовались различные значения числа делений  $N$ . При делении отрезка на  $N > 32$  когда число уравнений и неизвестных больше 106 происходит сбой программы связанный с длиной дробной части решения после запятой. По этому в программе предусмотрено соблюдение этого условия введением дополнительного окна контролирующее значение  $N$ .



При повторном вводе числа деления отрезка  $N < 30$  когда число неизвестных не превышает 90 программа работает в нормальном режиме.

### **Заключение по главе 3**

В заключительной главе посвященной формированию алгоритма и программы расчета начально-краевой задачи для уравнения теплопроводности приводится описание программного обеспечения на языке C++. Приведены необходимые сведения для разработки программного обеспечения. Подробно описаны порядок использования программного обеспечения. Проведен тест программы решения начально-краевой задачи для неоднородного уравнения теплопроводности с внешним источником методом граничных элементов.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА КОМПЬЮТЕРЕ**

### **1. Разработка инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению безопасности труда**

Для сохранения здоровья человека необходимо принимать меры по устранению или смягчению воздействия опасных факторов, описанных выше. В случае проектирования информационной системы необходимо предусмотреть следующие меры.

#### *Мероприятия по снижению влияния электромагнитных излучений и электростатических полей*

Уровни электромагнитных излучений от ЭВМ регламентируются следующими стандартами: Шведский национальный комитет по защите от излучений MPR II и Шведская конференция профсоюзов – TCO-95 и 2003 за рубежом и в России Санитарные нормы и правила 222/24 1340-03.

На задней стенке монитора, на табличке указывается, каким стандартам этот монитор удовлетворяет. Наиболее безопасные виды конструкций мониторов: Low Radiation, жидкокристаллические мониторы, мониторы с установленной защитой по методу замкнутого металлического экрана (наиболее безопасны, но и самые дорогие).

Рекомендуется использовать специальные защитные экраны, поляроидные фильтры, которые устанавливаются на экран компьютеров типа IBM-PC/AT. Поляроидные фильтры резко снижают электромагнитное излучение, уменьшают электростатическое поле, устраняют блики на экране дисплея.

Целесообразно использовать приборы из набора «BIOACTIVATOR», уникального изобретения российских ученых, предлагаемых компанией «Vision». В частности, наклейки «АНТИРАДИАНТ», предназначенные для защиты от электромагнитных полей электробытовой техники. Механизм защиты основан не на устранении источника вредных излучений или его экрани-

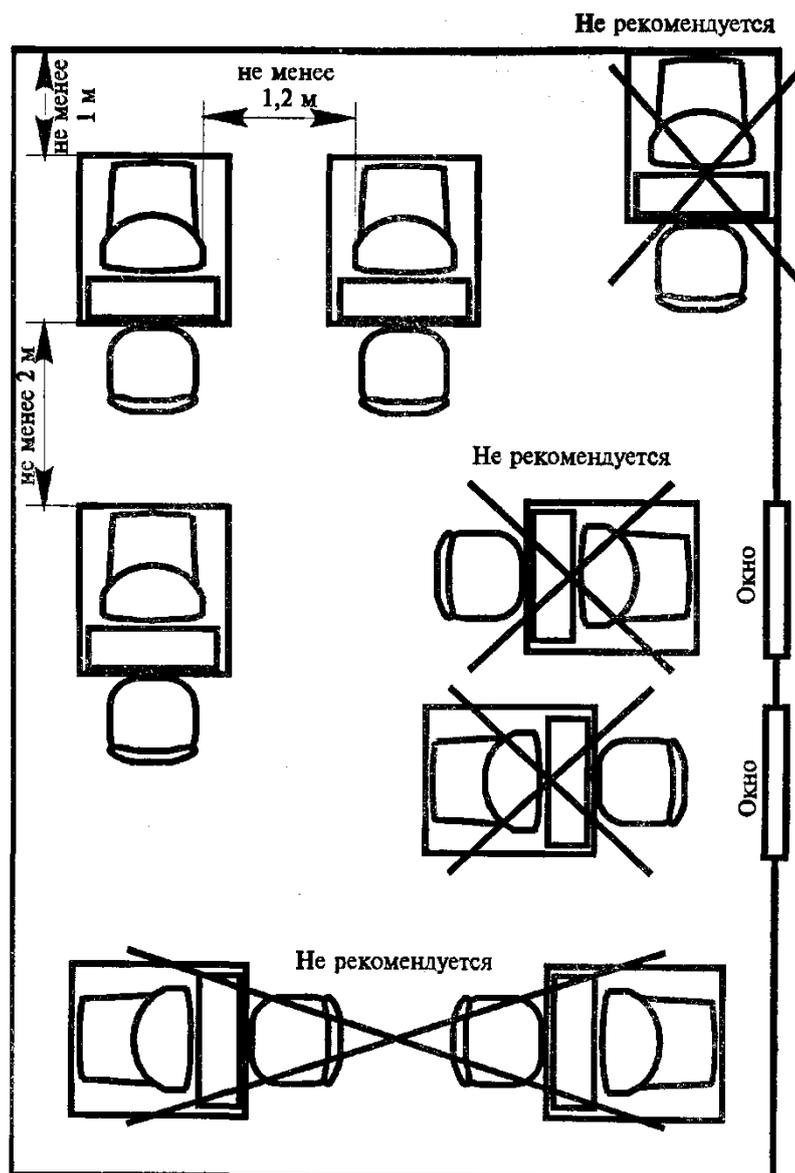
ровании, а на повышении общих неспецифических защитных свойств организма человека путем инверсии его собственных электромагнитных колебаний. Устройство крепится к мышке компьютера в месте соприкосновения поверхности прибора с ладонью.

Поскольку электромагнитное излучение исходит от всех частей монитора, (многие измерения показали, что уровень излучения по бокам иззади монитора выше, чем спереди) наиболее безопасно установить компьютер в углу комнаты или в таком месте, где те, кто на нем работает, не показывались бы сбоку или сзади от машины.

Экран компьютера должен быть на расстоянии 70-120 см от глаз по рекомендации Центра электромагнитной безопасности. Применяйте специальный защитный экран. Также необходимо соблюдать оптимальный режим труда и отдыха.

#### *Мероприятия по улучшению условий зрительной работы*

Снизить воздействие излучений и полей, уменьшить нагрузку на зрение человека можно так же путем подбора оптимального расстояния наблюдения



*Рекомендуемое расположение рабочих мест*

информации. При работе с видеотерминалом это расстояние равно 600-700 мм.

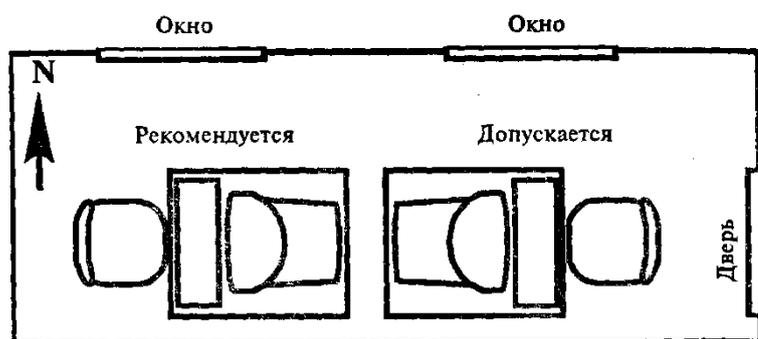
Экран дисплея по высоте должен быть расположен так, чтобы угол между нормалью к центру экрана и горизонтальной линией взгляда составлял 20 градусов. В горизонтальной плоскости угол наблюдения экрана не должен превышать 60 градусов. Пульт дисплея следует располагать на столе или подставке так, чтобы высота клавиатуры пульта по отношению к полу составляла 650-720 мм. При размещении пульта на стандартном столе высо-

той 750 мм необходимо использовать кресло с регулируемой высотой сидения и подставку для ног.

Документ для ввода оператором данных рекомендуется располагать на расстоянии 450-500 мм от глаз оператора, преимущественно слева, при этом угол между экраном дисплея и документом в горизонтальной плоскости должен составлять 30-40 градусов. Угол наклона клавиатуры должен быть равен 15 градусов.

Экран дисплея, документы и клавиатура пульта располагают так, чтобы перепад яркостей поверхностей, зависящий от их расположения относительно источника света, не превышал 1:10 (рекомендуемое значение 1:3). Устройства документирования и другие, нечасто используемые технические средства, рекомендуется располагать справа от оператора в зоне максимальной досягаемости, а средства связи слева, чтобы освободить правую руку для записей.

Для снижения зрительной нагрузки так же необходимо правильно организовать режим работы персонала (пункт 3.2.3.) и освещенность рабочего места. Рабочие места с ВДТ и ПЭВМ по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева.



*Рекомендуемое расположение рабочих мест*

Важно принять меры по уменьшению отражений от монитора. Яркое и неровное освещение в комнате может вызвать неприятные отражения на

экране. Возможные способы решения этой проблемы: выключение верхнего освещения, задерживание штор на окнах, которые пропускают слишком яркий свет, повороте монитора таким образом, чтобы не прямо перед ним, ни сзади не было ярких источников света. В цветовой композиции интерьера должны использоваться гармоничные сочетания (потолки белые, стена перед глазами работающего должна быть ярче остального фона). Применяется только общее освещение, возможно совмещенное (естественно-искусственное). Величина искусственной освещенности в горизонтальной плоскости не ниже 300 Лк.

#### *Мероприятия по снижению статических физических нагрузок*

Хороший результат снижения утомляемости при работе с ЭВМ дает правильная организация труда и отдыха. Согласно рекомендациям НИИ гигиены труда и профзаболеваний АМН РФ рабочий день за компьютером должен быть не более 6 часов, с дополнительными перерывами по 3 минуты через каждые полчаса, а через 2 часа работы по 15-20 минут.

Также для снижения статических нагрузок необходимо правильно организовать рабочее место. Высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах 680 – 800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм. Модульными размерами рабочей поверхности стола для ВДТ и ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800,100,1200 и 1400 мм, и глубину 800 и 1000 мм. при нерегулируемой его высоте, равной 720 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно - поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также – расстоянию спинки от переднего края сиденья. Конструкция должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и угол наклона вперед до 15° и назад до 5°;
- высоту опорной поверхности спинки 300±20 мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах 0-30 градусов;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной 50 -70мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230±30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 -500мм.

Рабочее место с ВДТ и ПЭВМ должно быть оснащено легко перемещаемым пюпитром для документов. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстояние 100-300 мм от края, обращенного к пользователю, или специальной регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

Медики считают, что главное – это положение всего тела. При работе правильной считается поза, когда голеностопный, коленный, бедренный и локтевой суставы согнуты под углом 90 градусов или чуть больше. Кисти прямые. Спина опирается на спинку кресла так, что сохраняется естественное положение шеи. Мышцы шеи и плеч расслаблены, взгляд направлен либо вперед, либо чуть вниз.

Положение тела должно соответствовать направлению взгляда:



*Рекомендуемая организация рабочего места*

- Нижний уровень экрана должен находиться на 20 см ниже уровня глаз
- Уровень верхней кромки экрана на высоте лба
- Кресло и клавиатуру устанавливают так, чтобы не надо было далеко тянуться.

Правильная поза минимизирует напряжение и снижает утомляемость. Однако, этого недостаточно. Врачи рекомендуют регулярно делать перерывы в монотонной работе для легкой зарядки или массажа, соблюдать режим работы.

Работа ЭВМ и вспомогательных устройств, связана с выделением тепла. При высокой температуре воздуха у людей, работающих в помещениях,

возникает перегрев организма, что приводит к повышенному потовыделению и снижению работоспособности. Работа оператора по энергозатратам организма относится к 1 категории работ, т.е. работ легкой категории, которая выполняется сидя и затраты энергии не превышают 150 Ккал/час. Описание параметров «Оптимальных норм микроклимата для помещений с ВДТ и ПЭВМ» приводится в таблице.

Оптимальные нормы микроклимата для помещений с ВДТ и ПЭВМ

<b>Период года</b>	<b>Категория работ</b>	<b>Температура воздуха, С не более</b>	<b>Относит. влажность воздуха, %</b>	<b>Скорость движения воздуха, м/с</b>
Холодный	легкая - 1а	22 -24	40 - 60	0,1
	легкая - 1б	21 - 23	40 - 60	0,1
Теплый	легкая - 1а	23 - 25	40 - 60	0,1
	легкая - 1б	22 - 24	40 - 60	0,2

Для создания оптимальных метеоусловий в помещении рекомендую применять сочетание естественной вентиляции с кондиционированием воздуха.

Шум возникает вследствие работы вентилятора, находящегося в корпусе компьютера и виброакустических шумов на верхнем пороге слышимости, производимых строчным трансформатором дисплея. Так же присутствуют шумы, издаваемые накопителями на жестком и мягком магнитных дисках. Все эти шумы в целом оказывают достаточно сильное влияние на психику и общее состояние человека, вызывая чувства неуверенности, стесненности, тревоги, плохого самочувствия, что приводит к снижению производительности труда, возникновению ошибок.

Чтобы уменьшить уровень шумов в помещении, рекомендую использовать звукоизолирующие преграды, стенки и потолки отделывают специальными пористыми плитами, хорошо поглощающими звук.

### Требования по электрической и пожарной безопасности

Энергоснабжение компьютера осуществляется через сеть бытового электропитания с номинальным напряжением 220 В. и частотой 50 Гц.

Для обеспечения электробезопасности персонала применяют защитное заземление, которое подключается к ЭВМ и вспомогательным устройствам через вилку электропитания. Так как бытовая электрическая сеть является сетью с напряжением до 1000 В., то защитное заземление применяется в трехфазных сетях переменного тока с изолированной нейтралью. Сопротивление заземляющего устройства  $r_3$  электроустановки напряжением до 1000 В. с изолированной нейтралью должно быть не более 4 Ом по ГОСТ 12.1.030-81. Защитное заземление используют для того, чтобы не возникало разности потенциалов между компьютером и периферийными устройствами, отдельно подключенными к электросети, а также между двумя соседними персональными компьютерами. Это особенно важно в случае работы в помещении достаточно большого количества пользователей.

Необходимо принять меры к предотвращению доступа пользователей к частям компьютера, находящимся под опасным напряжением, защитным корпусом.

Необходим контроль за состоянием изоляции. Работу по ремонту компьютеров следует производить только лицам, имеющим соответствующую подготовку и прошедшим инструктаж по технике безопасности.

Для профилактики пожара необходимо следить за состоянием электрических средств, своевременно производить их ремонт, правильно эксплуатировать аппаратуру.

Перед началом работы с компьютером персонал должен быть ознакомлен с правилами по технике безопасности, что должно быть зафиксировано в соответствующем журнале. Проведение инструктажа возлагается на ответственного сотрудника кафедры информатики.

Мероприятия по пожарной защите включают применение огнестойких конструкций и материалов в отделке помещения, использование средств оповещения и пожаротушения. В помещениях должны быть установлены средства связи для быстрого вызова городской пожарной части. Рабочее помещение должно быть оснащено углекислотными огнетушителями из расчета 1 на 100 м<sup>2</sup>. Огнетушители должны располагаться на видном месте и в любое время суток к ним обеспечивается беспрепятственный доступ.

Учитывая выше изложенное, представляется целесообразным оснастить рабочие места компьютерами, подключенными к сети электропитания, имеющей защитное заземление.

Планировка рабочих мест должна быть продумана таким образом, чтобы обеспечить легкий доступ пользователей к своим рабочим местам и предотвратить возможность опрокидывания персоналом мониторов и периферийного оборудования при эвакуации, а также исключить возможность травматизма и несчастных случаев при эксплуатации. Работы по ремонту компьютеров должны производиться в отдельном помещении.

*Мероприятия по повышению устойчивости функционирования проектируемой системы*

Для повышения надежности и обеспечения устойчивости функционирования данного программного обеспечения целесообразно применять элементы с повышенными ресурсами, своевременно выполнять сервисное обслуживание, использовать сетевые фильтры (пилоты) для сглаживания скачков напряжения в сети и источники бесперебойного питания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение процессов теплообмена всегда играло видную роль в развитии техники и естествознания. За последние десятилетия сфера интенсивного исследования и применения явлений теплообмена чрезвычайно расширилась. Она включает как ведущие направления техники (химическая технология, металлургия, строительное дело, нефтегазовая разработка, машиностроение и т.д.), так и основные естественные науки (биология, геология, физика, физика атмосферы и океана и другие). Теоретическое исследование процессов теплообмена в настоящее время в значительной степени базируется на их численном моделировании с использованием компьютеров. Это стало возможным благодаря значительному прогрессу в развитии вычислительных методов решения задач для уравнений в частных производных и увеличению мощности современных вычислительных машин.

В связи с этим в настоящей магистерской диссертации были рассмотрены задачи построения численного моделирования процессов теплопроводности с внешними источниками и решены соответствующие задачи на основе метода граничных элементов. При решении этой задачи использовались методы системного анализа, вычислительной математики, дифференциальных уравнений с частными производными, методы алгоритмизации и программирования. Были получены следующие результаты:

- изучена литература по предметной области, выявлены методы решения поставленной задачи;
- выбор метода решения задачи построения модели процесса теплопроводности с внешними источниками и его теоретическое обоснование;
- созданы алгоритмы и блок-схемы решения начально-краевой задачи уравнения теплопроводности;
- разработан и реализован алгоритм решения начально-краевой задачи уравнения теплопроводности и проведены тестовые задачи.

При создании модели процессов теплопроводности с внешними источниками и ее численной реализации с помощью метода граничных элементов использовались возможности языка C++, литературой по предметам «Математическое моделирование», «Численные методы» и компьютерные технологии. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в процессе одномерного распределения тепла в области, который входит в круг задач прикладного гранта А5-068 «Математическое моделирование задачи колебаний многомерных упругих тел и двумерных задач теории упругости» а также программные продукты могут быть применены в обучении при преподавании предметов «Численные методы», «Системное моделирование и основы проектирования».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Президента Республики Узбекистан принятое 21 марта 2012 года «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационно-коммуникационных технологий.
2. Oehlman D, Blance S. Pro Andrioid Web Apps, USA, “Apress”, 2011 г.
3. Bruce Eckel, Thinking in Java, 2<sup>nd</sup> ed, 2000.
4. Культин Н. C/C++ в задачах и примерах: - БХВ -Санкт-Петербург, 2005 г., 288 с.
5. Venner B. Interface Design. Best Practices in Object-Oriented API Design in Java, 2000.
6. Тихонов А.Н., Самарский А.А Уравнение математической физики, М.:Издательство МГУ, 1999 г., 798 с.
7. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Методы граничных элементов в прикладных науках. М.: Мир, 1984 г.,494 с.
8. Бадд Т. Объектно-ориентированное программирование в действии: Пер. с англ. – СПб.: Питер, 1997 г.
9. Гамма Э., Хелм Р, Джонсон Р., Влиссидес Дж.– «Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования» - СПб.: Питер, 2001 г.
10. Adams E.N. Optimizing preventative service of software products, 1984.
11. Нормуродов Т.Б. Тебраниш масалаларини чегаравий элементлар усули билан сонли ечишда мураккаб функцияларни танлаш. - Самарқанд, СамДУ нашри. – 1997.
12. Нормуродов Т.Б. Тебраниш масаларини ечишнинг чегаравий элементлар усули (Ихтисослик фанидан лаборатория ишларини бажаришга доир методик курсатмалар). - Самарқанд, СамДУ нашри. – 1994.
13. Нормуродов Т.Б., Абдукаримов А. Бир жинсли бир улчовли иссиклик утказувчанлик тенгламасини сонли ечиш учун чегаравий

элементлар усули//ТАТУ СФ профессор-укитувчиларининг 9-илмий-амалий конференцияси материаллари туплами: «Замонавий ахборот-коммуникация технологиялари». 30 апрел - 2 май 2014 йил, Самарканд. – 97-100 б.

14. Хендерсон П. Функциональное программирование. Применение и реализация. – М.: Мир, 1980 г.

15. Бадд Т. Объектно-ориентированное программирование в действии: Пер. с англ. – СПб.: Питер, 1997 г.

16. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. – «Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования» - СПб.: Питер, 2001 г.

17. Коуд П., Норт Д., Мейфилд М. Объектные модели. Стратегии, шаблоны и приложения: Пер. с англ. – “Лори”, 1999г.

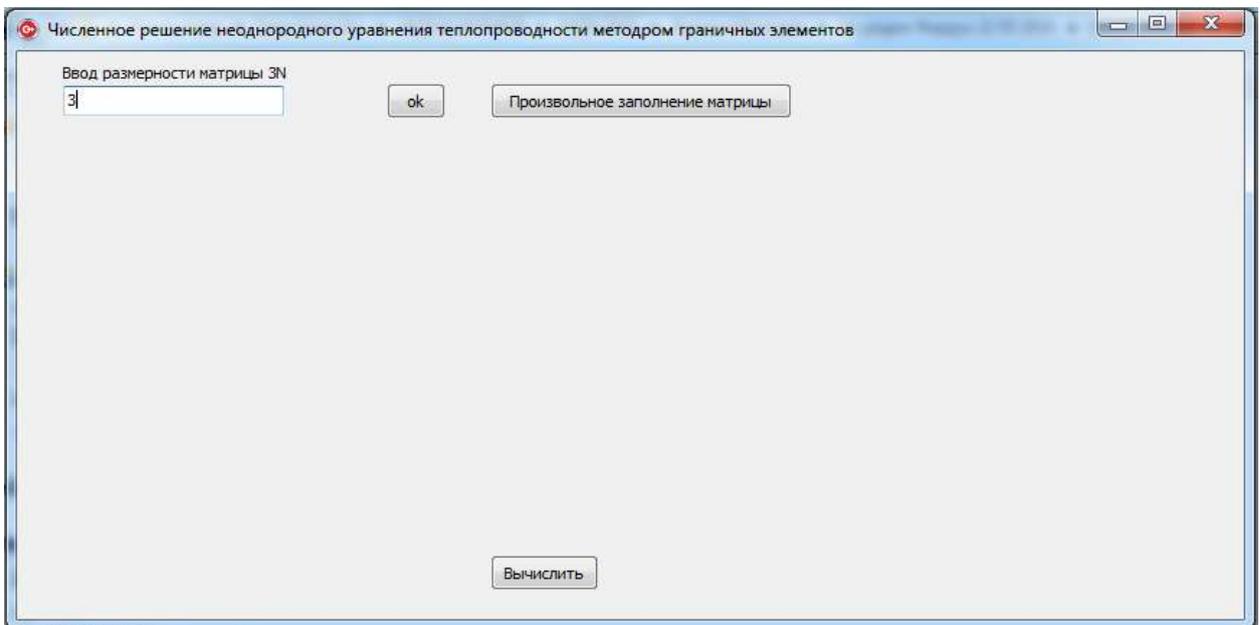
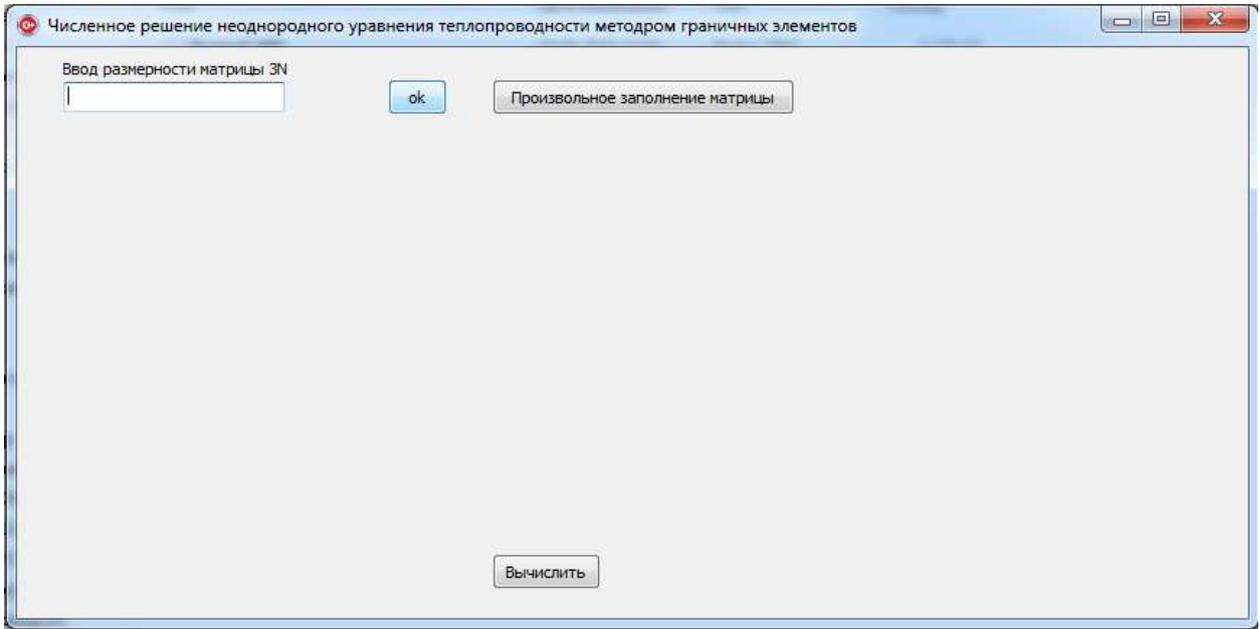
18. Adams E.N. Optimizing preventative service of software products, 1984.

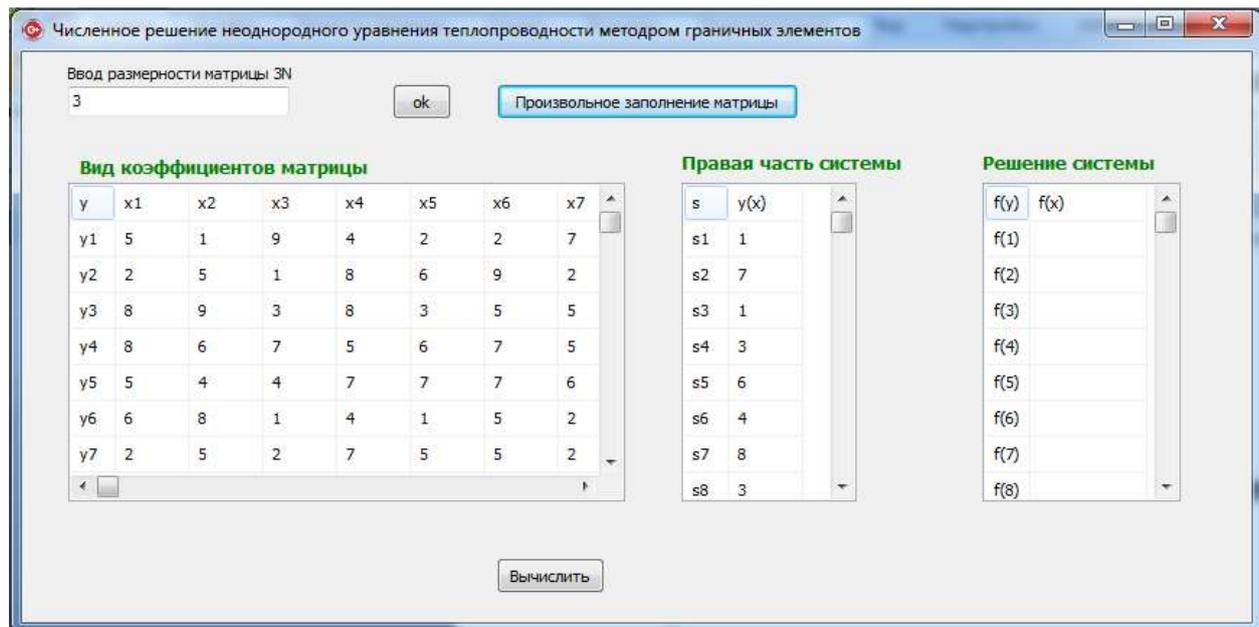
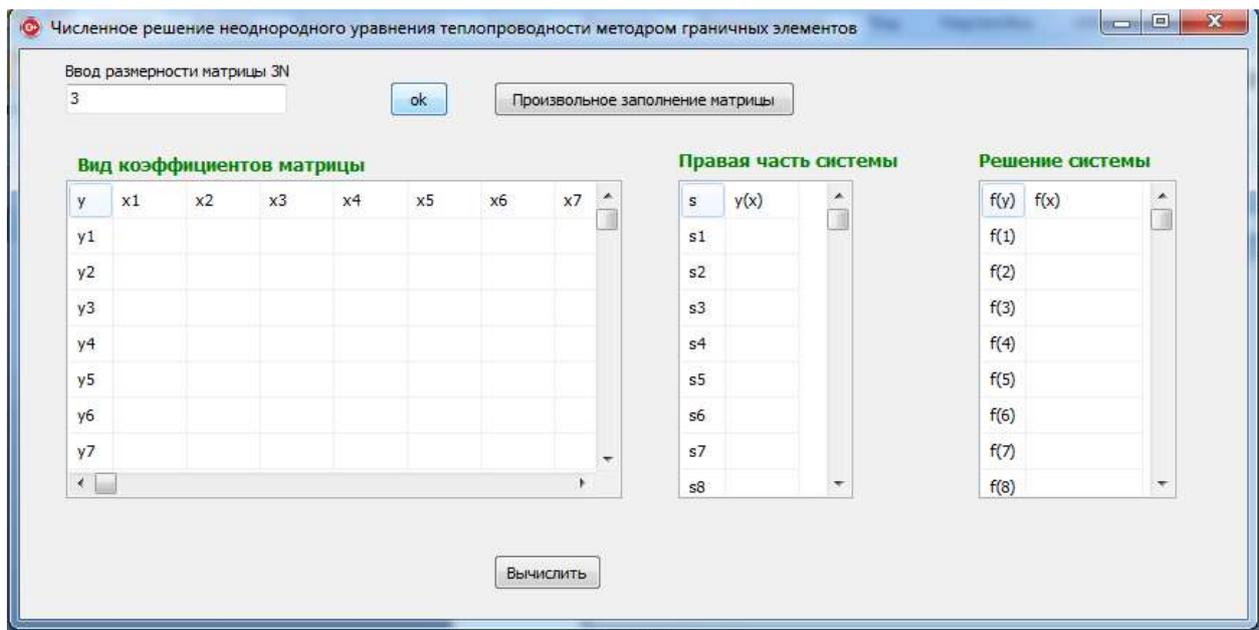
19. Кудратов А., Ганиев Т. и др. Безопасность жизнедеятельности, Тошкент, Алоқачи, 2005

20. Малаян К. Р. Безопасность при работе с компьютером. – Санкт-Петербург СПбГПУ, 2002.

21. Безопасность жизнедеятельности: Комплексные средства защиты. Справочное пособие по дипломному проектированию./ Под ред. Иванова Н. И. и Фадина И. М. – СПб.: БГТУ, 2004.-190с.

## Процесс работы программы





Численное решение неоднородного уравнения теплопроводности методом граничных элементов

Ввод размерности матрицы  $3N$

**Вид коэффициентов матрицы**

y	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7
y1	5	1	9	4	2	2	7
y2	2	5	1	8	6	9	2
y3	8	9	3	8	3	5	5
y4	8	6	7	5	6	7	5
y5	5	4	4	7	7	7	6
y6	6	8	1	4	1	5	2
y7	2	5	2	7	5	5	2

**Правая часть системы**

s	y(x)
s1	1
s2	7
s3	1
s4	3
s5	6
s6	4
s7	8
s8	3

**Решение системы**

f(y)	f(x)
f(1)	70,19407700
f(2)	86,28894800
f(3)	22,56810800
f(4)	121,42853000
f(5)	-69,90660900
f(6)	-253,94067000
f(7)	203,19125000
f(8)	2,21918920