**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ**

**АРХАНГЕЛЬСКИЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**К а ф е д р а т е п л о т е х н и к и**

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ**

**ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕОДНОМЕРНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ**

**ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ С**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНСЕРВАТИВНО-РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ**

**А Р Х А Н Г Е Л Ь С К**

**1 9 9 3**

…………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………………

О Г Л А В Л Е Н И Е

 Введение ................................………………………………….......

1.Основные положения методики построения консервативно-

 разностной схемы при решении неодномерных задач

 стационарной теплопроводности ...........…………………...........

 2. Методика подготовки и решения задачи на ЭВМ ....…………...

 2.1. Постановка задачи, разработка математической

 модели ...................................………………………………….....

 2.2. Выбор метода численного решения .......…………………......

 2.3. Разработка алгоритма и структуры .........…………………......

 2.4. Написание программы и подготовка ее к

 вводу в ЭВМ .....................………………………………...............

 2.5. Тестирование, отладка программы и решение на ЭВМ

 Литература .......................…………………………………................

В В Е Д Е Н И Е

Базовый уровень подготовки инженера-энергетика в области информатики и вычислительной техники определяется необходимым набором знаний, умений и навыков в применении ЭВМ для решения различных технических задач.

Специалисты этой категории, помимо умения использовать прикладное программное обеспечение, должны быть программирующими пользователями, т.к. их профессиональная деятельность связана с выполнением большого количества теплотехнических расчетов.

Для соблюдения принципа фундаментальности высшего образования работа построена на базе рассмотрения вопросов применения ЭВМ для решения основных задач теории теплообмена. К одной из таких задач относится задача, связанная с определением температурного поля не одномерных тел численными методами.

Рассмотрим методику подготовки и решения указанной задачи на персональном компьютере.

1. О С Н О В Н Ы Е П О Л О Ж Е Н И Я М Е Т О Д И К И

П О С Т Р О Е Н И Я К О Н С Е Р В А Т И В Н О-Р А З Н О С Т Н О Й С Х Е М Ы ПРИ Р Е Ш Е Н И И Н Е О Д Н О М Е Р Н Ы Х З А Д А Ч С Т А Ц И О Н А Р Н О Й Т Е П Л О П Р О В О Д Н О С Т И

 Определение температурного поля в любой момент времени является основной задачей теории теплопроводности. Для изотропного тела {с постоянным по различным направлениям коэффициентом теплопроводности λ} она может быть описана дифференциальным уравнением теплопроводности

 ▼ T + Qv/λ = 1/a\*( dT/d(τ)), (1)

где Т - температура; а - коэффициент температуропроводности, а=λ/(ρ\*c); ρ - плотность материала, с - удельная теплоемкость при постоянном давлении, ▼ -обозначение оператора Лапласа {▼= d /dx + d /dy + d /dz - в декартовых координатах x, y, z }; τ - время, Qv - объемная плотность теплового потока.

 Уравнение теплопроводности является математическим выражением закона сохранения энергии в твердом теле.

 При решении задачи к дифференциальному уравнению теплопроводности необходимо добавить краевые условия. В описание краевых условий входят: поле температур для какого-нибудь предшествующего момента времени {начальные условия}, геометрия тела {геометрические условия}, теплофизические характеристики тела {физические условия} и закон теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой {граничные условия}.

 Если процесс теплопроводности не только стационарный {dT/d(tay)=0}, но и происходит без тепловыделения внутри материала (Qv = 0), то уравнение принимает вид

 ▼(Т) = 0 . (2)

 Ввиду сложности и трудоемкости решения неодномерных задач теплопроводности аналитическими методами в инженерной практике наиболее часто используют приближенные. Один из них – метод конечных разностей, непосредственно базирующийся на дифференциальном уравнении теплопроводности и граничных условиях, представляет наибольший интерес.

 В настоящее время значительное распространение получили конечно-разностные методы, построенные с использованием известных законов сохранения. В этом случае разностные схемы получили название консервативные. Такой подход к построению схемы, сохраняющий физическую сущность задачи, предпочтительнее чисто аналитического подхода, заключающегося в непосредственной записи дифференциальных уравнений конечно-разностными аналогами.

 Следует заметить, что теория конечно-разностных численных методов является самостоятельным разделом вычислительной математики и широко представлена в специальной литературе[1,2,]. С основными методами построения конечно-разностных схем, алгоритмами расчета, программным обеспечением применительно к задачам теплообмена можно ознакомиться в учебной литературе [3,4,5].

 При изложении указанного метода особое внимание уделено физическому смыслу построения консервативной разностной схемы и ее реализации на ПЭВМ в задачах теплопроводности.

 При использовании численного метода с консервативной разностной схемой твердое тело разбивают на элементарные объемы. Предполагается, что масса такого элементарного объема сосредотачивается в его центре, называемом узлом. Для каждого узла на основе закона сохранения энергии составляется уравнение теплового баланса, которое включает значения всех тепловых потоков на границах объемов (ячеек). Если ячейка прилегает к поверхности тела, то выражения для определения тепловых потоков должны описывать теплообмен между телом и окружающей средой, то есть учитывать граничные условия. После выполнения преобразований с уравнениями теплового баланса получают алгебраические уравнения для температуры в каждом узле. Поскольку число узлов и число ячеек совпадают, то образованная система алгебраических уравнений является конечно-разностным аналогом дифференциального уравнения теплопроводности и заменяет его с соответствующими граничными условиями. Такой подход к составлению конечно-разностного аналога, увязанного с тепловым балансом, позволяет получать правдоподобные решения даже при грубом выборе расстояния между узлами (размера ячейки сетки).

 Рассмотрим некоторые конкретные примеры составления конечно-разностных схем для узлов двумерной задачи теплопроводности. В этом случае уравнение (2) принимает вид

 dT/dx + dT/dy = 0 . (3)

 Внутренняя область типичного двумерного тела показана на рис.1.

 Рис.1. Расположение узла внутри двумерного тела толщиной б.

 Каждый элементарный прямоугольник (ячейка сетки) имеет длину ‑х и высоту ‑у в направлениях осей х и у. Внутренний узел, обозначенный символом 0, окружен четырьмя соседними узлами: 1,2,3,4. Кондуктивный перенос теплоты, который в действительности происходит в твердом теле через поверхности y\*б и x\*б (б -толщина тела) будем считать как перенос теплоты от соответствующих узлов к центральному. В установившихся условиях уравнение баланса тепловых потоков для узла 0 при отсутствии внутреннего тепловыделения будет иметь вид

 Q(1-0) + Q(2-0) + Q(3-0) + Q(4-0) = 0 , (4)

где Q(I-0) - тепловой поток; индекс (I-0) указывает направление переноса в узлах.

 Для определения кондуктивного теплового потока может быть применен закон Фурье

 Q = - lamda \* F \* dT/dn, (5)

где Т - температура, n - направление переноса теплового потока, F - поверхность, через которую переносится тепловой поток.

 Для построения расчетной схемы градиент температуры в выражении (5) заменим разностью температур в соседних узлах. В этом случае первый член выражения (4) примет вид

 Q(1-0) = y\*б\*(T[1] - T[0])/x. (6)

Здесь градиент температуры определяется на границе двух узлов 1 и 0, имеющих температуры соответственно Т[1] и Т[0].

 Аналогичные уравнения могут быть получены и для остальных трех членов уравнения (1):

 Q(2-0) = x\*б\*(T[2] - T[0])/y, (7)

 Q(3-0) = y\*б\*(T[3] - T[0])/x, (8)

 Q(4-0) = x\*б\*(T[4] - T[0])/y . (9)

 Точность аппроксимации градиента зависит от размера ячейки. Если ячейка имеет квадратную форму, то уравнение теплового потока становится независимым от формы тела.

 Подставляя зависимости (6)...(9) в выражение (4), можно увидеть, что при постоянном коэффициенте теплопроводности для квадратной сетки (x = y) оно сводится к соотношению между температурами в рассматриваемом узле и близлежащих:

 T[1]+ T[2] + T[3] + T[4] - 4\*T[0] = 0. (10)

Выражение (10) применимо ко всем внутренним узлам.

 Рассмотрим узел, расположенный на поверхности твердого тела, толщиной б в двухмерной задаче (рис.2).

Рис.2.Расположение узлов на поверхности

 двумерного тела, омываемого жидкостью

 Пусть узел 0, расположенный на границе твердого тела, контактирует с окружающей средой, имеющей температуру Тc. Интенсивность теплообмена с окружающей средой характеризуется коэффициентом теплоотдачи alfa. Узел 0 может также обмениваться кондуктивным потоком теплоты с тремя соседними узлами: 1,2,3. В этом случае тепловой баланс для узла 0 запишется следующим образом:

 Q(1-0) + Q(2-0) + Q(3-0) + Q(c-0) = 0, (11)

где Q(c 0)-тепловой поток, передаваемый от среды узлу 0 конвекцией.

 По закону Ньютона - Рихмана

 Q(c-0) = alfa\*F\*(T[c] - T[0]) . (12)

 В результате преобразований выражения (11), по аналогии с ранее выполненными, для внутреннего узла, получим

 y\*б\*(T[1] -T[0])/ x + (x/2)\*б\*(T[2] -T[0])/ y + ( x/2)\*

 \*б\*(T[3] -T[0])/ y + alfa\* y\*б\*(Tc -T[0]) = 0 . (13)

 Соотношение (13) значительно упрощается при выборе квадратной сетки. В этом случае при постоянном коэффициенте теплопроводности оно приводится к виду

 T[1] + 0,5\*(T[2] + T[3]) + Bi\*Tc - (2+Bi)\*T[0] = 0, (14)

где Bi =alfa\* x/lamda - число Био.

Ниже приведены уравнения теплового баланса при других граничных условиях для двухмерных тел (x=y):

 Узел Схема Расчетное

 уравнение

 .....│/ Т

 . 2 \*/ Е

 . ║/ П

 Плоская поверх- ─┬──.──── ┌ ─ ║/ Л

 ность с тепло- │ . ║/ О

 изолированной x . \* ══╪═ \*║/ И

 границей │ . 1 0 ║/ З 0,5(T[2] + T[3]) +

 ─┴──.──── ├─ ─╢/ О + T[1] -2\*T[0] = 0

 . ║/ Л

 . ─>┴ x╠<Я

 . 3 \*/ Ц

 . │/ И

 ..../ Я

 - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -- - - - - - - -

 . . . . .

 . \*2 .

 . ──>┼───╫ x ├<─ .

 . ├─ ─║─ ─┼─┬─ .

 Внутренний угол, . 1 0 ║ │ 3. 0,5\*(T[1]+T[4])+

 обе поверхности .───\*─══╧══─\* ══╪══ \* . +T[2]+T[3]+Bi\*Tc-

 омываются жид- alfa,Tc ║ x . -(3+Bi)\*T[0] = 0

 костью Окружающая ║─ ─┴─┴─ .

 среда ║ .

 \*4 .

 │...

Данный метод применим и для трехмерных задач при наличии внутреннего источника тепловыделения.

 2. М Е Т О Д И К А П О Д Г О Т О В К И И Р Е Ш Е Н И Я

 З А Д А Ч И Н А Э В М

 Решение задачи на ЭВМ включает в себя следующие основные

этапы[6]:

 1. Постановка задачи, разработка математической модели.

 2. Выбор метода численного решения.

 3. Разработка алгоритма и структуры данных.

 4. Написание программы и подготовка ее к вводу в ЭВМ.

 5. Тестирование и отладка программы.

 6. Решение задачи на ЭВМ, обработка и оформление результата

 Методику подготовки и решения задач рассмотрим на конкретном примере расчета температурного поля в поперечном сечении элемента конструкции энергетического оборудования.

 Пусть имеется длинная металлическая балка, являющаяся элементом конструкции энергетического оборудования. Поперечное сечение балки представлено на рис.3. Балка изготовлена из материала, имеющего коэффициент теплопроводности lamda. Верхняя поверхность имеет температуру Тa, нижняя -Тb. Одна боковая поверхность омывается воздухом с температурой Тc, а другая теплоизолирована. Коэффициент теплоотдачи от воздуха к боковой поверхности alfa1. Полость балки омывается жидкостью с температурой Td. Средний коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенкам alfa2. Составить программу на языке Паскаль для расчета стационарного температурного поля в 20 узлах поперечного сечения балки.

 2.1. П о с т а н о в к а з а д а ч и, р а з р а б о т к а

 м а т е м а т и ч е с к о й м о д е л и

 Постановка задачи связана с точным описанием исходных данных, условий задачи и целей ее решения. Этап разработки математической постановки называют также этапом формализации задачи. На этом этапе многие из условий задачи, заданные в форме различных словесных описаний, необходимо выразить на точном (формальном) языке математики. Полученная на этапе формализации новая задача называется м а т е м а т и ч е с к о й моделью исходной задачи. В результате инженерная задача приобретает вид формализованной математической задачи.

 Рис.3. Поперечное сечение балки с нанесенной сеткой

 Нанесем (рис.3) на рассматриваемое тело сетку с квадратными ячейками. Пронумеруем все углы с неизвестными температурами. Температуры в узлах верхней и нижней поверхностей равняются соответственно значениям Тa и Тb , а поэтому на рис.3 не показаны. Разностные уравнения для граничных узлов 6, 9, 11, 13, 20 можно выбрать по рассмотренным выше уравнениям. Система из 20 уравнений баланса энергии запишется следующим образом:

узел 1: T[2]+0,5\*(T[7]+Tb)+Bi1\*Tc - (2 + Bi1)\*T[1] = 0,

 где Bi1 = alfa1\* x/lamda ;

узел 2: T[1]+T[3]+T[8]+Tb - 4\*T[0] = 0 ;

узел 3: T[2]+0,5\*(T[9]+Tb)+Bi2\*Td - (2+Bi2)\*T[3] = 0,

 где Bi2 = alfa2\* x/lamda ;

узел 4: T[5]+0,5\*(T[11]+Tb)+Bi2\*Td - (2+Bi2)\*T[4] = 0;

узел 5: T[4]+T[6]+T[12]+Tb - 4T[5] = 0 ;

узел 6: T[5]+0,5\*(T[13]+Tb) - 2T[6] = 0 ;

узел 7: T[8]+0,5\*(T[1]+T[14])+Bi1\*Tc - (2+Bi1)\*T[7]=0;

узел 8: T[7]+T[9]+T[2]+T[15] - 4\*T[8] = 0 ;

узел 9: T[8]+T[16]+0,5\*(T[3]+T[10])+Bi2\*Td-(3 + Bi2)\*T[9]=0;

узел 10: T[17]+0,5\*(T[9]+T[11])+Bi2\*Td-(2+Bi2)\*T[10] = 0 ;

узел 11: T[12]+T[18]+0,5\*(T[4]+T[10])+Bi2\*Td-(3+Bi2)\*T[11]=0 ;

узел 12: T[5]+T[11]+T[13]+T[19] - 4\*T[12] = 0 ;

узел 13: T[12]+0,5\*(T[6]+T[20]) - 2\*T[13] = 0 ;

узел 14: T[15]+0.5\*(T[7]+Ta)+Bi1\*Tc - (2+Bi1)T[14] = 0;

узел 15: T[8]+T[14]+Ta+T[16] - 4T[15] = 0 ;

узел 16: T[9]+T[15]+Ta+T[17] - 4T[16] = 0 ;

узел 17: T[10]+T[16]+Ta+T[18] - 4T[17] = 0 ; (15)

узел 18: T[11]+T[17]+Ta+T[19] - 4T[18] = 0 ;

узел 19: T[12]+T[16]+T[20]+Ta - 4\*T[19] = 0 ;

узел 20: T[19]+0,5\*(T[13]+Ta) - 2\*T[20] = 0 .

 Окончательный вид системы уравнений для нахождения значений температуры в 20 узлах рассматриваемой задачи должен быть выбран в зависимости от метода решения.

 В результате применения метода конечных разностей получили 20 алгебраических уравнений для 20 узлов в твердом теле. Эта система уравнений заменяет уравнение(3) в частных производных с соответствующими граничными условиями. Решение полученной системы уравнений позволяет найти распределение температуры в узлах твердого тела.

 2.2. В ы б о р м е т о д а ч и с л е н н о г о

 р е ш е н и я

 Выбор метода решения задачи требует знания соответствующих разделов математики. Выбранный метод должен обеспечить представление вычислительного процесса в виде последовательности элементарных арифметических и логических операций. Если ни один из методов не подходит для решения поставленной задачи, возникает необходимость разработки нового метода.

 Задачи, связанные с решением системы линейных алгебраических уравнений, базируются на прямых и итерационных методах. Прямые методы решения основаны на приведении системы уравнений к "треугольному" виду {методы Гаусса, Гаусса - Жордана, Холесского и др.}. Итерационные методы - на выражении неизвестных температур в левые части соответствующих уравнений системы {методы Якоби, Зейделя и др.}.

 Коэффициенты при неизвестных температурах в уравнениях образуют разряженную матрицу, т.к. в каждом уравнении для ряда неизвестных они принимают нулевое значение. В этом случае итерационные методы, основанные на последовательном уточнении первоначального приближения для решения, представляют больший интерес по причине высокой вычислительной эффективности.

 Анализ достоинств и недостатков методов решения систем линейных уравнений можно найти в специальной литературе [2,7], а применительно к задачам теплообмена [3,4,5].

 Рассмотрим в качестве примера итерационный метод Зейделя. В нем из каждого уравнения выражают в явном виде температуру узла, для которого составляется баланс энергии и система уравнений (15) приводится к виду:

 1: T[1]=(T[2]+0.5\*(T[7]+Tb)+Bi1\*Tc)/(2+Bi1);

 2: T[2]=(T[1]+T[3]+T[8]+Tb)\*0.25;

 3: T[3]=(T[2]+0.5\*(T[9]+Tb)+Bi2\*Td)/(2+Bi2);

 4: T[4]=(T[5]+0.5\*(T[11]+Tb)+Bi2\*Td)/(2+Bi2);

 5: T[5]=(T[4]+T[6]+T[12]+Tb)\*0.25;

 6: T[6]=(T[5]+0.5\*(T[13]+Tb))\*0.5;

 7: T[7]=(T[8]+0.5\*(T[1]+T[14])+Bi1\*Tc)/(2+Bi1);

 8: T[8]=(T[2]+T[7]+T[9]+T[15])\*0.25;

 9: T[9]=(T[8]+T[16]+0.5\*(T[3]+T[10])+Bi2\*Td)/(3+Bi2);

 10: T[10]=(T[17]+0.5\*(T[9]+T[11])+Bi2\*Td)/(2+Bi2); (16)

 11: T[11]=(T[12]+T[18]+0.5\*(T[4]+T[10])+Bi2\*Td)/(3+Bi2);

 12: T[12]=(T[5]+T[11]+T[13]+T[19])\*0.25;

 13: T[13]=(T[12]+0.5\*(T[6]+T[20]))\*0.5;

 14: T[14]=(T[15]+0.5\*(T[7]+Ta)+Bi1\*tc)/(2+Bi1);

 15: T[15]=(T[8]+T[14]+T[16]+Ta)\*0.25;

 16: T[16]=(T[9]+T[15]+T[17]+Ta)\*0.25;

 17: T[17]=(T[10]+T[16]+T[18]+Ta)\*0.25;

 18: T[18]=(T[11]+T[17]+T[19]+Ta)\*0.25;

 19: T[19]=(T[12]+T[18]+T[20]+Ta)\*0.25;

 20: T[20]=(T[19]+0.5\*(T[13]+Ta))\*0.5;

 При решении все начальные значения температур обычно принимаются равными нулю или значению наименьшей температуры тела, принятой с учетом граничных условий. Использование такого грубого начального приближения приводит к излишним затратам времени на получение решения, Однако при таком подходе значительно экономится время при вводе. Далее проведя вычисления, находим новые значения температур в каждом из 20 узлов. Новое значение каждой температуры сравнивается с предыдущим и если их разность меньше заданного допустимого отклонения, итерационный процесс заканчивается.

 Для увеличения скорости решения системы уравнений вычисляемые искомые параметры используются по мере их получения для уточнения значений последующих температур: Т[1] сразу же применяется для вычисления температуры Т[2], полученные значения температур T[1] и Т[2] -для вычисления температуры Т[3] и т.д.

2.3. Р а з р а б о т к а а л г о р и т м а и с т р у к т у р ы п р о г р а м м ы

 Алгоритм программы представляется блок-схемой.

 Укрупненная блок-схема алгоритма рассматриваемой задачи представлена на рис.4.

 ──────────

 . НАЧАЛО .

 ────┬─────

 ────1────┴─────────────

 / ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ /

 ────────────┬──────────

 ╓───── 2 ───┴───────────╖

 ║ ВЫБОР НАЧАЛЬНОЙ ║

 ║ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА ║

 ╙───────────┬───────── ╜

 ╓───── 3 ───┴───────────╖

 ║ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЕЛ ║

 ║ Bi1 и Bi2 ║

 ╙───────────┬───────── ╜

 ╓───── 4 ───┴───────────╖

 ║ РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ ║

 ║ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ║

 ╙───────────┬──────────╜

 ╓───── 5 ───┴───────────╖

 ║ ВЫВОД ЗНАЧЕНИЙ ║

 ║ ТЕМПЕРАТУР ║

 ╙───────────┬───────── ╜

 ────┴────

 . КОНЕЦ .

 ─────────

 Рис.4. Укрупненная схема алгоритма решения задачи

В блоке 1 ввод данных необходимо организовать в диалоговом режиме.

 В качестве исходных данных вводится число узлов (N), размер ячейки сетки (dx), погрешность в определении температуры (eps) и граничные условия.

 Пусть N=20; dx=0,1 м; eps=0,1оC; Ta = 120оC; Tb = 300оC;

 Tc = 30оC; Td = 200оC; alfa1 = 40 Вт/(м"K);

 alfa2 =120 Вт/(м"К); lamda = 50 Вт/(м"К ).

 Наиболее простой вариант представления входной информации для данной программы будет иметь вид:

 ВВЕДИТЕ ПАPАМЕТPЫ PАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ:

 число узлов - 20

 размер ячейки сетки, м - 0.1

 погрешность в определении температуры, ^C - 0.1

 ВВЕДИТЕ ГPАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ:

 температура поверхности А, ^C - 120

 температура поверхности B, ^C - 300

 температура жидкости,

 омывающая поверхность С, ^С - 30

 коэффициент теплоотдачи от поверхности С

 alfa1, Вт/(м2K) - 40

 температура жидкости,

 омывающая поверхность D, ^C - 200

 коэффициент теплоотдачи от поверхности D

 alfa2, Вт\(м2К) - 120

 коэффициент теплопроводности LAMDA, Вт/(м2\*К) - 50

 Для представления блоков 2, 4, 5 использован символ "предопределенный процесс" для того, чтобы показать необходимость дополнительного шага раскрытия алгоритма.

 В блоке 2 для выбора начальной температуры можно воспользоваться простым перебором значений температур, входящих в граничные условия и найти минимум (рис.5).

 Конкретный вид блока 4 будет зависеть от выбранного численного метода решения системы уравнений. При использовании итерационного метода Зейделя один из подходов к решению системы уравнений (16) представлен на рис.6. Алгоритм рассматриваемого решения в текстуальной форме был описан при выборе численного метода (раздел 1.2).

 Все значения начальных температур в теле T[i] принимаются равными наименьшей из температур.

 После проверки вычислений находятся новые значения температур в 20 узлах

 Текущее значение температуры Т(i) и значение температуры в том же узле на предыдущей итерации ТТ(i) сравниваются, и если их разность меньше eps, то итерационный процесс заканчивается. При невыполнении условия производится подготовка к следующей итерации. Максимальное число итераций задано числом М. Обычно сходимость вычислительного процесса для задач данного типа достигается при М<50. Использование консервативной конечно-разностной схемы уже предполагает выполнение для системы уравнений условия сходимости т.е сумма отношений коэффициентов любой строки к диагональному коэффициенту меньше единицы.

 Если по какой либо причине (допущена ошибка при составлении системы уравнений и т.п.) вычислительный процесс расходится, то необходимо при выводе информации предусмотреть сообщение об этом.

 Выходная информация должна содержать распределение температуры в оC, рассчитанное итерационным методом.

 Необходимо предусмотреть не только вывод результатов расчета на печать, но и вывод исходных данных.

 Алгоритм должен предусматривать возможность расчета системы более чем из 20 уравнений.

 2.4 Н а п и с а н и е п р о г р а м м ы и п о д г о т о в к а е е к в в о д у н а Э В М

 При написании программы следует учитывать те обстоятельства, что работа не предусматривает использование библиотеки стандартных программ из-за специфики поставленной задачи. Для удобства реализации вспомогательных алгоритмов соответствующие программы составляются самим студентом.

 Особенности работы на персональном компьютере в системе Турбо-паскаль 5.5 подробно изложены в литературе [6-9, 12...15]. Студент должен на уровне не программирующего пользователя обладать необходимыми знаниями о работе на персональном компьютере [10,11].

 2.5. Т е с т и р о в а н и е, о т л а д к а п р о г р а м м ы и р е ш е н и е з а д а ч и н а Э В М

 Основная цель этапа отладки - выявление и исправление ошибок. Процесс отладки практически состоит из многократных попыток выполнения программы на машине и анализе получаемых неудовлетворительных результатов.

 Процессу выполнения программы на ЭВМ предшествует трансляция программы. Программа, написанная на языке программирования, с помощью специальной программы, называемой транслятором, переводится на язык машинных команд ЭВМ. Процесс такого перевода называется трансляцией.

 На этапе в ы п о л н е н и я в программу вводятся необходимые исходные данные и выводятся результаты расчета. Поэтому все многообразие ошибок, обнаруживаемых в процессе отладки, условно делятся на ошибки, обнаруженные на этапах трансляции, редактирования и собственно выполнения программы. Форма сообщения об ошибках и их характере зависит от системы в которой работает пользователь на языке Паскаль. Интегрированная среда Турбо-паскаль предоставляет широкие возможности по созданию программных продуктов [14,15].

 После того как программа становится работоспособной, производится ее т е с т и р о в а н и е, задачей которого является проверка правильности функционирования во всем диапазоне допустимых значений исходных данных.

 После окончания отладки программы и счета необходимо оценить полученные результаты с точки зрения критериев, которым они должны удовлетворять, сделать необходимые выводы о достижении поставленных конечных целей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Калиткин Н.Н. Численные методы. - М.: Наука, 1978.- 670 с.

2. Самарский А.А. Теория разностных схем. - М.: Наука, 1983.

3. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи: Пер. с англ.- М.: Мир,1983. - 512 с.

4. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена: Учебное пособие для теплофизич. И теплоэнергетических спец. вузов.- М.: Высш. шк.,1990.-207 с.

5. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена: Пер.с англ.-М.:Мир,1988.-544с.

6. Вычислительная техника и программирование: Учебн. для техн.вузов / А.В. Петров, В.Е. Алексеев, А.С. Ваулин и др. Под редакцией А.В. Петрова. - М.: Высш. шк., 1990. - 479 с.

7. Шуп Т. Прикладные численные методы в физике и технике: Пер. с англ.- М.: Высш.шк.,1990.-239 с.

8. Вычислительная техника и программирование. Практикум по программированию: Прак.пособие / В.Е. Алексеев, А.С. Ваулин, Г.Б. Петрова. Под ред. А.В. Петрова.- М.: Высш. ШК.,1991. - 400 с.

9. Перминов О.Н. Язык программирования Паскаль: Справвочник. -М.:Радио и связь, 1989. - 128 с.

10.Фигурнов В.Э. IBM PC для пользователя, 2-е изд.,перераб. И доп.- М.: Финансы и статистика, Юнити 1992. - 288 с.

11.Ширшов Е.В. Пособие для начинающего пользователя по работе на персональном компьютере IBM PC. Архангельск: ИВЦ "Информтех", 1992. - 70 с.

12.Бородич Ю.С., Вальвачев А.Н., Кузмич А.И. Паскаль для персональных компьютеров: Справочное пособие.- МН.: Высш. шк.: фБР ГИТМП "Ника", 1991.-365 с.

13.Поляков Д.Б., Круглов И.Ю. Программирование в среде Турбо Паскаль (Версия 5.5). Справ.-метод. пособие.- М.: Из-во МАИ,1992. - 576 с.

14.Краткое руководство по TURBO PASCAL 5.5.- М.: НПФ "И.В.К.-СОФТ",1991.- 84 с.

15.Мишнев Б.Ф. Интегрированная среда программирования Турбопаскаль версии 5.5. Пособие по использованию. Мн.: Мп.: МЕТЭКС, 1991.- 40 с.

О с т а ш е в С. И.

профессор

кафедры теплотехники

ком.1424