

ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СИ8105385

С. И. ЩЕРБАКОВ, Т. Ю. КАЗАКОВА, Л. М. ПАРАФИЛО

**Программа расчета температурных полей
в элементах конструкций ядерных реакторов**

Обнинск — 1990

ФЭИ - 1019

ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

С.И.Щербаков, Т.Д.Казакова, Л.М.Парафило

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ЭЛЕМЕНТАХ
КОНСТРУКЦИИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Объем - 1980

УДК 621.039.536.2

М-17

А Н Н О Т А Ц И Я

Описана обобщенная программа расчета трехмерных нестационарных температурных полей для исследования узлов конструкций атомных реакторов.

В качестве примера рассмотрим температурные поля в верхней части корпуса реактора.

© - Физико-энергетический институт, 1980г.

Расчетная оценка температурного режима является распространенной задачей в практике разработок технических узлов и устройств. При этом до настоящего времени разработчиками узлов атомных реакторов широко используются упрощенные методы расчетов, не соответствующие современному уровню развития численных методов и вычислительной техники. Это обстоятельство, по мнению авторов, определяется тем, что известные программы расчетов либо недостаточно универсальны (частные программы [1]), а именно, ориентированы на геометрически определенные объекты и использование определенных граничных условий, либо настолько универсальны (обобщенные программы [1]), что требует большого объема вводимой информации, подготовка которой занимает много времени и затрудняет использование программы.

Создание программы, максимально приближенной к условиям проектирования и эксплуатации, обеспечивающей простоту задания произвольной геометрической формы устройства, краевых условий и оперативности в получении решений при переходе от одной геометрии к другой, являлось целью данной работы.

I. МЕТОД РАСЧЕТА

I.1. Постановка задачи

Рассматривается произвольное трехмерное тело, в том числе состоящее из нескольких тел, для которого известны:

- физические свойства материалов, составляющих тело: объемная теплоемкость $C(\vec{r})$, теплопроводность $\lambda(\vec{r})$, объемное тепловыделение $Q_v(\vec{r}, \tau)$,
- положение граничных поверхностей (включая внутренние) - F ,
- граничные условия, включающие температуру окружающей среды $T_r(\tau)$, контактные термические сопротивления на граничных поверхностях (в том числе коэффициент теплоотдачи R_s ,
- начальное температурное состояние тела $T(\vec{r}, \tau = 0)$.

Здесь: \vec{r} - координаты, τ - время.

Задача расчета состоит в построении температурного поля в теле для интересующих моментов времени.

1.2. Разностные уравнения баланса

Для построения температурного поля исследуемое тело и окружающая его среда считаются состоящими из множества пронумерованных, граничащих между собой шестигранных элементов i, j, k . При этом каждой грани элемента граничат только с одним другим элементом. Элемент имеет объем $\Delta V_{i,j,k}$ и площади граней $S_{i,j,k}^1, S_{i,j,k}^2, S_{i,j,k}^3, S_{i,j,k}^4, S_{i,j,k}^5, S_{i,j,k}^6$, где верхний индекс характеризует направление нормального к грани вектора, а нижний - принадлежность элементу. В пределах элемента физические свойства и тепловыделение не зависят от координаты внутри элемента.

Уравнение теплового баланса элемента имеет вид:

$$C_{i,j,k} \cdot \frac{\partial T_{i,j,k}}{\partial t} = \sum_{\ell=1}^6 (Q_{i,j,k}^{\ell} - Q_{i,j,k}^{\ell, \ell, \ell, \ell, \ell, \ell}) + Q_{V_{i,j,k}} \quad (1)$$

где: $m_{\ell} = 1$ при $\ell = m$, $m_{\ell} = 0$ при $\ell \neq m$.

Тепловые потоки через грани Q определяются разностными уравнениями:

$$Q_{i,j,k}^{\ell} = S_{i,j,k}^{\ell} (T_{i,j,k} - T_{i,j,k}^{\ell, \ell, \ell, \ell, \ell, \ell}) / R_{i,j,k}^{\ell} / \Delta V_{i,j,k} \quad (2)$$

где: R - термическое сопротивление между геометрическими центрами соседних элементов, включающее сопротивление за счет теплопроводности и контактное сопротивление между элементами. В том случае, если один из элементов принадлежит окружающей тело среде, R может входить также коэффициент теплоотдачи.

1.3. Алгоритм решения разностных уравнений

Решение системы уравнений 1,2 состоит в вычислении температур элементов $T_{i,j,k}$ в последующий момент времени $\bar{t} + \Delta \bar{t}$ по известным температур в предыдущий момент \bar{t} . Для этого производная во времени в (1) заменяется разностью:

$$\frac{\partial T_{i,j,k}}{\partial t} = \frac{T_{i,j,k}^{\bar{t} + \Delta \bar{t}} - T_{i,j,k}^{\bar{t}}}{\Delta \bar{t}} \quad (3)$$

С целью повышения точности расчета, обеспечения сходимости и устойчивости используется неявный метод переменных направлений [2]. Для нахождения промежуточных решений по каждому из направлений применен метод одномерной прогонки [3]. Реализация указанных методов обеспечивается заменой системы (1,2) тремя системами уравнений, каждая из которых характеризуется одним преимущественным направлением - l , тепловые потоки вдоль которого $Q_{i,j}^n$ рассчитываются неявно, по температурам элементов в последующий момент времени, в то время, как по двум другим направлениям - явно, по температурам в предыдущий момент времени. Каждая система представляет совокупность независимых подсистем уравнений для элементов тела, отличающихся значением одного индекса.

При этом все три системы рассматриваются последовательно одна за другой через временный интервал $\Delta T/3$ и, таким образом, определяются температуры элементов тела. Для элементов, принадлежащих окружающей среде, температуры меняются в соответствии с заданным законом изменения, либо определяются по температурам элементов тела.

Тексты участков программы, обеспечивающих формирование систем уравнений и осуществление процедур прогонки в трех различных направлениях i, j, k , представлены на рис. 1-4 соответственно. Алгоритмический язык ФОРТРАН. Описанные структуры не зависят от решаемой задачи.

2. ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ОБЛАСТИ

2.1. Формирование координатной сетки

Используемая для решения задачи система координат предопределяет расположение и форму элементов, составляющих исследуемое тело. Поэтому для описания сложных тел, в особенности их границ, предусмотрена возможность построения системы криволинейных ортогональных координат. Требование ортогональности обеспечивает правильный учет термических сопротивлений и соответствует принятой нумерации элементов.

Построение координатной сетки заключается в определении длин отрезков, являющихся ребрами элементов. Соответствие нумерация элементов и их ребер представлено на рис. 5а. При этом, для трех координатных плоскостей с индексами $i = I, j = I, k = I$ соответственно, длины отрезков задаются пользователем с учетом ортогональности образующей сетки, а остальное построение осуществляется программно (рис. 5б). Процедуры ввода могут меняться пользователем в зависимости от конкретно вводимой координатной сетки с целью упрощения и сокращения объема информации [4].

2.2. Формирование расчетного аналога объекта

Формирование расчетного аналога включает установление принадлежности каждого из элементов определенной группе и описание свойств и характеристик групп (рис. 6, 7).

Принадлежность группе вводится массивом $U_{i,j,k}$, могущим принимать значения $\langle U \rangle = 0, 1, \dots, 9$ (всего десять групп).

Свойства групп задаются значениями следующих массивов (все величины в единицах системы СИ):

- PLAM($\langle U \rangle + 1$) - теплопроводность элемента,
- CP(" ") - теплоемкость элемента,
- Т0(" ") - начальная температура элемента,
- QV0(" ") - начальное объемное тепловыделение,
- RCOMP($\langle U \rangle_1 + 1, \langle U \rangle_2 + 1$) - контактное сопротивление между соседними элементами, принадлежащими группам $\langle U \rangle_1$ и $\langle U \rangle_2$.

LU ($\langle U \rangle + 1$) - идентификация групп по принадлежности:

- $\langle LU \rangle = 1$ - группа элементов исследуемого тела,
- = 2 - группа элементов окружающей среды с заданной и постоянной во время процесса температурой,
- = 3 - группа элементов окружающей среды, обменивающихся с элементами тела теплом, поток которого не зависит от времени ($QS = 0$ - условие адиабатности),
- = 4 - группа элементов окружающей среды с заданным по времени законом изменения температуры,
- = 5 - группа элементов окружающей среды, обменивающихся с элементами тела теплом, поток которого зависит от времени.

Принято, что $\langle U \rangle = 0$ отвечает группа элементов, не участвующих в расчете. Поэтому, $LU(1) = 0$ и все свойства при $\langle U \rangle = 0$ произвольны. Массив LU - целый.

Обязательное требование к формированию расчетного аналога: все поверхности элементов тела должны контактировать либо с другими элементами тела, либо с элементами окружающей среды.

Для всех элементов тела массивом QT определена зависимость уровня объемного тепловыделения относительно начального значения, а массивом $T3$ - значения температур элементов групп $\langle LU \rangle = 4$ для различных моментов времени, кратных величине $\langle TAU \rangle$. На рис.7 представлены тексты формирования текущих значений величин тепловыделения и температур окружающей среды из массивов QT и $T3$. При необходимости, различия объемного тепловыделения (теплового потока на поверхности тела) в пределах одной группы элементов могут быть учтены прямым заданием массива QV .

Шаг по времени в процессе поиска решения задается величиной $\langle TAU \rangle$, зависящей от решаемой задачи [5]. При относительно больших $\langle TAU \rangle$ возможна неустойчивость расчетного процесса.

Предусмотрена возможность проведения ускоренного расчета стационарного режима без правильного учета временных характеристик, который определяется шагом по времени $\langle TV \rangle$ и объемом наименьшего из элементов тела $\langle SMIN \rangle$.

3. Текст программы

Текст программы представлен на рис.8. Он включает:

- описания массивов, которые могут быть изменены пользователем, если предусмотренное количество узлов по каждому направлению не обеспечивает построение расчетного аналога,
- определение моментов времени, считая от начала процесса, в которые нужно вывести на печать значения температур узлов тела - целый массив $PI T$,
- присваивание целых величин IP , JP , KP - предельных значений индексов для конкретной задачи, $M1$ - полного числа раз обращений к печати, $M2$ - числа раз обращений к печати при первичном ускоренном расчете стационарного режима ($M1 \geq M2 \geq 1$),
- операторы организации печати температурного поля слоями, при фиксированных значениях индекса K , производимой в моменты времени, определяемые первыми $M1$ элементами массива $\langle RINT \rangle$.

В тексте программы вместо многоточий после комментариев сле-

дует поставять с соответствующими комментариями согласно рис.1+7.

В ряде случаев интерес представляют расчеты двумерных областей, однако с большим количеством узлов по каждому из направлений. Программу для проведения двумерных расчетов можно получить из описаний, заменив в тексте все трехмерные массивы соответствующими двумерными, убрав в текстах по рис. 1+3,5 все величины и функции, изменяющиеся по направлению K, в частности, все массивы, имеющие в обозначении букву K, убрав текст по рис.4 и сократив текст по рис.1 и рис.7.

4. Пример расчета узлов корпуса реактора.

В качестве примера использования описанной программы на рис. 9+13 представлены результаты расчета температурных полей в верхней части корпуса давления :

- нестационарный процесс в двумерной $y-z$ области для случая резкого снижения температуры теплоносителя внутри корпуса с 290°C до 220°C , (рис.9+11),
- стационарный режим в трехмерной области для узла корпуса, содержащего патрубки для теплоносителя (рис.12,13).

Исходные данные для расчета узлов корпуса представлены в таблице :

№ узла рис.9	группа <U>	<LU>	<CP> дл/м ³ °C	<RAM> вт/м ³ °C	<T0> °C	<TAU> сек	число элемен. разбиен	число эл. разбиен рис.12
1	1	1	$3.95 \cdot 10^6$	44	290		6x5	
2	2	1	"	38	290		6x5	
3	3	1	"	44	290		16x9	23x11x8
4	2	1	"	38	290	50	8x6	
5	1	1	"	44	290		14x9	
6	1	1	"	44	290		13x2	
7	5	1	$3.73 \cdot 10^6$	373	290		1x1	

Контактное сопротивление между элементами групп:

2-1 $R_{CONT}=0.06 \text{ м}^2\text{°C/вт}$, 2-3 $R_{CONT}=0.4$, 3-4 $R_{CONT}=0.12$.

Контактное сопротивление к теплоносителю внутри корпуса $R=0.01$. Температура теплоносителя внутри корпуса вдоль всей поверхности контакта с узлами корпуса считается в каждый момент времени постоянной, температуре теплоносителя в патрубках (200°C) постоянна и во времени.

Все внешние границы узлов, не являющихся поверхностями контакта с теплоносителями, считаются адиабатными.

Рассматриваемый переходный процесс характеризуется медленным (~ 10 час.) установлением температур в узлах, что определяется низким коэффициентом теплоотдачи к теплоносителю (рис.11) и значительным термическим сопротивлением узлов (рис.10). Существенных перепадов температур в узлах корпуса не наблюдается.

Характер стационарного температурного поля для узла №3 (рис.9), рассматриваемого более детально в трехмерной области, определяется передачей тепла от теплоносителя внутри корпуса к теплоносителю в патрубках. Можно отметить значительные градиенты температуры в местах сочленения корпуса и патрубков.

Время счета на ЭВМ ЕС-1030 по первой задаче составило ~30 мин, по второй -100 мин. Время подготовки данных ~20 чел.-час.

Литература

1. Киселев И.Г. Расчет температурных полей узлов энергетических установок. Л., Машиностроение, 1978.
2. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. М., Мир, 1972.
3. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М., Наука, 1976.
4. Карпов В.Я. Алгоритмический язык фортран. М., Наука, 1976.
5. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М., Наука, 1971.

C HASCHET COEFF. SISTEMA

```

IP1=IP-1
JP1=JP-1
KP1=KP-1
DO 101 K=2,KP
DO 101 I=2,IP1
DO 101 J=2,JP1
S=(BI(I,J,K)+BI(I,J+1,K))*(BJ(I,J,K)+BJ(I+1,J,K))/4.
L=U(I,J,K)+1
LI=U(I,J,K-1)+1
AK(I,J,K)=S*8./((BK(I,J,K)+BK(I,J+1,K)+BK(I+1,J,K)
*+BK(I+1,J+1,K))/RLAM(L)+(BK(I,J,K-1)+BK(I,J+1,K-1)
*+BK(I+1,J,K-1)+BK(I+1,J+1,K-1))/RLAM(L1)+8.*RCOEF(L,L1))
101 CONTINUE
DO 102 J=2,JP
DO 102 K=2,KP1
DO 102 I=2,IP1
S=(BI(I,J,K)+BI(I,J,K+1))*(BK(I,J,K)+BK(I+1,J,K))/4.
L=U(I,J,K)+1
LI=U(I,J-1,K)+1
AJ(I,J,K)=S*8./((BJ(I,J,K)+BJ(I+1,J,K)+BJ(I,J,K+1)
*+BJ(I+1,J,K+1))/RLAM(L)+(BJ(I,J-1,K)+BJ(I+1,J-1,K)
*+BJ(I,J-1,K+1)+BJ(I+1,J-1,K+1))/RLAM(L1)+8.*RCOEF(L,L1))
102 CONTINUE
DO 103 I=2,IP
DO 103 J=2,JP1
DO 103 K=2,KP1
S=(BJ(I,J,K)+BJ(I,J,K+1))*(BK(I,J,K)+BK(I,J+1,K))/4.
L=U(I,J,K)+1
LI=U(I-1,J,K)+1
AI(I,J,K)=S*8./((BI(I,J,K)+BI(I,J+1,K)+BI(I,J,K+1)
*+BI(I,J+1,K+1))/RLAM(L)+(BI(I-1,J,K)+BI(I-1,J+1,K)
*+BI(I-1,J,K+1)+BI(I-1,J+1,K+1))/RLAM(L1)+8.*RCOEF(L,L1))
103 CONTINUE
DO 104 I=1,IP1
DO 104 J=1,JP1
DO 104 K=1,KP1
L=U(I,J,K)+1
S=(BI(I,J,K)+BI(I,J,K+1)+BI(I,J+1,K)+BI(I,J+1,K+1))*
*(BJ(I,J,K)+BJ(I+1,J,K)+BJ(I,J,K+1)+BJ(I+1,J,K+1))*
*(BK(I,J,K)+BK(I+1,J,K)+BK(I,J+1,K)+BK(I+1,J+1,K))/64.
BI(I,J,K)=AI(I+1,J,K)
BJ(I,J,K)=AJ(I,J+1,K)
BK(I,J,K)=AK(I,J,K+1)
QV(I,J,K)=QVO(L)*S
TA(I,J,K)=CP(L)*SMIN/TAU*3.
TB(I,J,K)=CP(L)*S/TU*3.
104 CONTINUE
DO 105 I=1,IP
DO 105 J=1,JP
DO 105 K=1,KP
L=U(I,J,K)+1
T(I,J,K)=TO(L)
105 U(I,J,K)=LU(L)

```

Рис. 1. ПАКЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ.

```
C PROGRAMKA PO I
DO 10 I=2,IP
DO 10 J=2,JP
DO 10 K=2,KP
L=U(I,J,K)
IF(L-1)10,11,10
11 S=T(I,J,K)
R(I,J,K)=A*(I,J,K)*(T(I,J-1,K)-S)+B*(I,J,K)+(T(I,J+1,K)-S)+
*A*(I,J,K)*(T(I,J,K-1)-S)+B*(I,J,K)*(T(I,J,K+1)-S)+S*TA(I,J,K)
=QV(I,J,K)
10 CONTINUE
DO 20 J=2,JP1
DO 20 K=2,KP1
DO 15 I=1,IP
L=U(I,J,K)
GOTO (12,13,13,14),L
9 GOTO 15
12 S=AI(I,J,K)*(1.-AL(I))+BI(I,J,K)+TA(I,J,K)
AL(I+1)=AI(I,J,K)/S
BL(I+1)=(AI(I,J,K)*BL(I)+B(I,J,K))/S
GOTO 15
13 AL(I+1)=0.
BL(I+1)=T(I,J,K)
GOTO 15
14 AL(I+1)=1.
BL(I+1)=B(I,J,K)/BI(I,J,K)
15 CONTINUE
DO 19 I=1,IP
L=IP-I+1
LI=U(I,J,K)
GOTO (16,19,19,17),L1
8 GOTO 19
16 T(I,J,K)=AL(L+1)*T(L+1,J,K)+BL(L+1)
GOTO 19
17 IF(L-IP)22,23,19
22 LI=U(L+1,J,K)
IF(L1-1)21,16,21
21 IF(L-1)19,19,23
23 LI=U(L-1,J,K)
IF(L1-1)19,18,19
18 T(L,J,K)=BL(L)/(1.-AL(L))
19 CONTINUE
20 CONTINUE
```

FIG.2. PACUET KOMPIJUTERNEJ TEMPERATY (HEDENNAJ
CHEMA DO NAIPADENIJA I).

```

C PROGRAMMA PO J
  DO 30 J=2,JP
  DO 30 K=2,KP
  DO 30 I=2,IP
  L=U(I,J,K)
  IF(L-1)30,31,30
31 S=T(I,J,K)
  E(I,J,K)=AI(I,J,K)*(T(I-1,J,K)-S)+BI(I,J,K)*(T(I+1,J,K)-S)+
  *AK(I,J,K)*(T(I,J,K-1)-S)+BK(I,J,K)*(T(I,J,K+1)-S)+S*TA(I,J,K)
  **QV(I,J,K)
30 CONTINUE
  DO 40 K=2,KP1
  DO 40 I=2,IP1
  DO 35 J=1,JP
  L=U(I,J,K)
  GOTO (32,33,33,34),L
29 GOTO 35
32 S=AJ(I,J,K)*(1.-AL(J))+BJ(I,J,K)+TA(I,J,K)
  AL(J+1)=BJ(I,J,K)/S
  BL(J+1)=(AJ(I,J,K)+BL(J)+R(I,J,K))/S
  GOTO 35
33 AL(J+1)=0.
  BL(J+1)=T(I,J,K)
  GOTO 35
34 AL(J+1)=1.
  BL(J+1)=QV(I,J,K)/BJ(I,J,K)
35 CONTINUE
  DO 39 J=1,JP
  L=JP-J+1
  LI=U(I,L,K)
  GOTO (36,39,39,37),LI
28 GOTO 39
36 T(I,L,K)=AL(L+1)*T(I,L+1,K)+BL(L+1)
  GOTO 39
37 IF(L-JP)42,43,39
42 LI=U(I,L+1,K)
  IF(LI-1)41,36,41
41 IF(L-1)39,39,43
43 LI=U(I,L-1,K)
  IF(LI-1)39,38,39
38 T(I,L,K)=BL(L)/(1.-AL(L))
39 CONTINUE
40 CONTINUE

```

РИС.3. РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР (НЕЯВНАЯ
СХЕМА ПО НАПРАВЛЕНИЮ J).

```

C ПРОГРАМКА ПО K
DO 50 K=2, KP
DO 50 I=2, IP
DO 50 J=2, JP
L=U(I, J, h)
IF(L-1)50, 51, 50
51 S=T(I, J, K)
R(I, J, K)=A*(I, J, K)*(T(I, J-1, K)-S)+B*(I, J, K)*(T(I, J+1, K)-S)+
*AI(I, J, K)*(T(I-1, J, K)-S)+BI(I, J, K)*(T(I+1, J, K)-S)+S*TA(I, J, h)
**+QV(I, J, K)
50 CONTINUE
DO 60 I=2, IP1
DO 60 J=2, JP1
DO 55 K=1, KP
L=U(I, J, K)
GOTO (52, 53, 54, 54), L
49 GOTO 55
52 S=AK(I, J, K)*(1.-AL(K))+BK(I, J, K)+TA(I, J, K)
AL(K+1)=BK(I, J, K)/S
GOTO 55
53 AL(K+1)=0.
BL(K+1)=T(I, J, K)
GOTO 55
54 AL(K+1)=1.
BL(K+1)=QV(I, J, K)/BK(I, J, K)
55 CONTINUE
DO 59 K=1, KP
L=KP-K+1
LI=U(I, J, L)
GOTO (56, 59, 59, 57), LI
48 GOTO 59
56 T(I, J, L)=AL(L+1)*T(I, J, L+1)+BL(L+1)
GOTO 59
57 IF(L-KP)62, 63, 59
62 LI=U(I, J, L+1)
IF(LI-1)61, 56, 61
61 IF(L-1)59, 59, 63
63 LI=U(I, J, L-1)
IF(LI-1)59, 58, 59
58 T(I, J, L)=BL(L)/(1.-AL(L))
59 CONTINUE
60 CONTINUE

```

РИС.4. РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР (НЕРВНАЯ СХЕМА ПО НАПРАВЛЕНИЮ K).

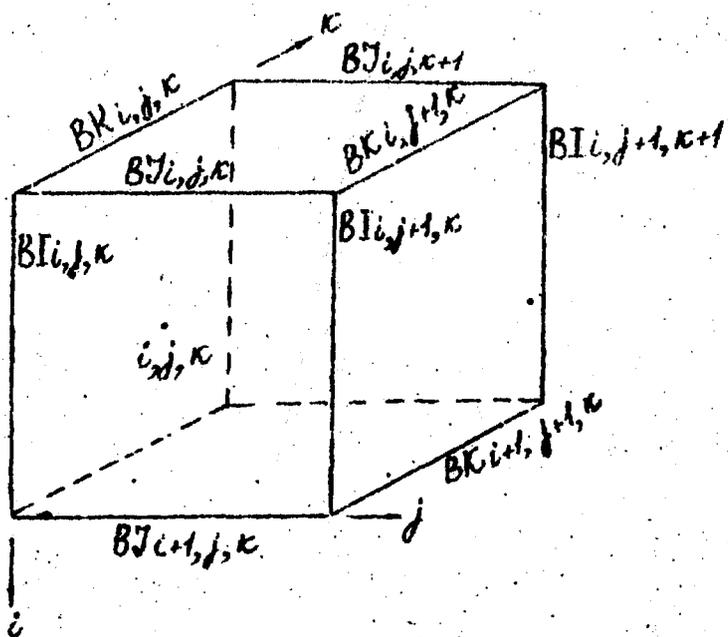


Рис. 50. Вычисления при переходе к элемента I, J, K.

```

C ПОСТРОЕНИЕ СЕТКИ КООРДИНАТ
98 FORMAT(5F10.5)
  READ(1,98)(BI(I,J,1),I=1,25),J=1,10)
  READ(1,98)(BI(I,1,K),I=1,25),K=1,10)
  READ(1,98)(BJ(I,J,1),I=1,25),J=1,10)
  READ(1,98)(BJ(1,J,K),K=1,10),J=1,10)
  READ(1,98)(BK(I,1,K),I=1,25),K=1,10)
  READ(1,98)(BK(1,J,K),K=1,10),J=1,10)
  DO 100 I=1,IP
  DO 100 J=1,JP
  DO 100 K=1,KP
  BI(I,J,K)=BI(I,1,K)*BI(I,J,1)/BI(I,1,1)
  BJ(I,J,K)=BJ(1,J,K)*BJ(I,J,1)/BJ(1,J,1)
100 BK(I,J,K)=BK(1,J,K)*BK(I,1,K)/BK(1,1,K)

```

Рис. 55. Построение сетки координат.

C ПОСТРОЕНИЕ ОБЪЕКТА РАСЧЕТА

```

99 FORMAT (50I1)
READ(1,99)((U(I,J,K),I=1,25),J=1,18),K=1,10)
DATA RLAM/0.,<RLAM(U=1)>,<RLAM(U=2)>,...,<RLAM(U=9)>/
DATA CP/0.,<CP(U=1)>,<CP(U=2)>,...,<CP(U=9)>/
DATA TO/0.,<TO(U=1)>,<TO(U=2)>,...,<TO(U=9)>/
DATA QVO/0.,<QVO(U=1)>,<QVO(U=2)>,...,<QVO(U=9)>/
DATA RCONT/11*0.,<RCONT(U=1,U=1)>,<RCONT(U=1,U=2)>,...,
<RCONT(U=1,U=9)>,<RCONT(U=2,U=1)>,...,<RCONT(U=2,U=9)>,
<RCONT(U=9,U=1)>,...,<RCONT(U=9,U=9)>/
DATA LU/0,1,1,1,1,1,3,2,2,4/
DATA T3/100* $\langle T3 \rangle$ /
DATA QT/100* $\langle QT \rangle$ /
TAU= $\langle TAU \rangle$ 
TU= $\langle TU \rangle$ 
DTAU= $\langle DTAU \rangle$ 
DTU= $\langle DTU \rangle$ 
SMIN= $\langle SMIN \rangle$ 

```

РИС.6. ПОСТРОЕНИЕ ОБЪЕКТА РАСЧЕТА

(< > - ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СОБРАТЕСТВЕННЫХ ВЕЛИЧИН).

C ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ВРЕМЕНИ (I)

```

STA=STA+TAU/3./DTAU
I=AINI(STA)
TS=T3(I)+(T3(I+1)-T3(I))*(STA-I)
IF(I.EQ.0) TS=T3(I)
QS=QT(I)+(QT(I+1)-QT(I))*(STA-I)
IF(I.EQ.0) QS=QT(I)
DO 24 I=1,IP
DO 24 J=1,JP
DO 24 K=1,KP
L=U(I,J,K)
IF(L.EQ.5.OR.L.EQ.1)QV(I,J,K)=QV(I,J,K)*QS
IF(L.EQ.4) T(I,J,K)=TS
24 CONTINUE

```

C ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ВРЕМЕНИ (J)

```

.....
DO 44 I=1,IP
DO 44 J=1,JP
DO 44 K=1,KP
.....
44 CONTINUE

```

C ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ВРЕМЕНИ (K)

```

.....
DO 64 I=1,IP
DO 64 J=1,JP
DO 64 K=1,KP
.....
64 CONTINUE

```

РИС.7. ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ВРЕМЕНИ. В ТЕРСТАХ (J) И (K) ВНЕШНО МНОГОТОЧКИ СТОИТ ОПЕРАТОР, АНАЛОГИЧНЫЕ ТЕРСТЫ (I)

```

// JOB FIELD
* TIME<TIME>
// OPTION LIST, LINK
ACTION CLEAR
// EXEC FFORTRAN
C PROGRAM FIELD
  DIMENSION AI(25,18,18), BI(25,18,18), AJ(25,18,18), BJ(25,18,18),
  *AK(25,18,18), BK(25,18,18), T(25,18,18), S(25,18,18),
  *QV(25,18,18), TA(25,18,18), TB(25,18,18), MOUNT(18,18),
  *T3(100), QT(100), AL(30), BL(30), LRINT(28), QVS(18), BLAN(18),
  *CP(18), TO(18), LU(18)
  INTEGER U(25,18,18)

```

C POSTROENIE SETKI KOORDINAT

C POSTROENIE OS'ENKA RASCHETA

```

DATA LRINT/<LRINT(1),...,LRINT(28)>/
DATA IP,JP,KP,M1,M2/<IP>,<JP>,<KP>,<M1>,<M2>/

```

C RASCHET COEFF. SISTEM

```

GOTO 106
116 DO 118 J=2,IP1
  DO 118 J=2,JP1
  DO 118 K=2,KP1
118 TA(I,J,K)=TB(I,J,K)
  TAU=TV
106 CONTINUE

```

C POSTROENIE FUNKCII VREMENI (I)

C PROGONKA PO I

C POSTROENIE FUNKCII VREMENI (J)

C PROGONKA PO J

C POSTROENIE FUNKCII VREMENI (M)

C PROGONKA PO K

```

121 FORMAT(' ',18F6.1)
S=STA-LRINT(M+1)/DTAU
IF(S)106,106,107
107 DO 200 K=2,KP1
  WRITE(3,121)
  WRITE(3,121)((T(I,J,K),J=1,18),I=1,25)
200 CONTINUE
114 M=M+1
IF(M-M2)106,116,117
117 IF(M-M1)106,115,115
115 STOP
END

```

PRG.8. TEKST IPOVPAMENI. NEMOTO NEMOTOCHEM PACHONKEM
 COOTBETCTBEHME YNACTEM OCHACHO PRG.1+7.

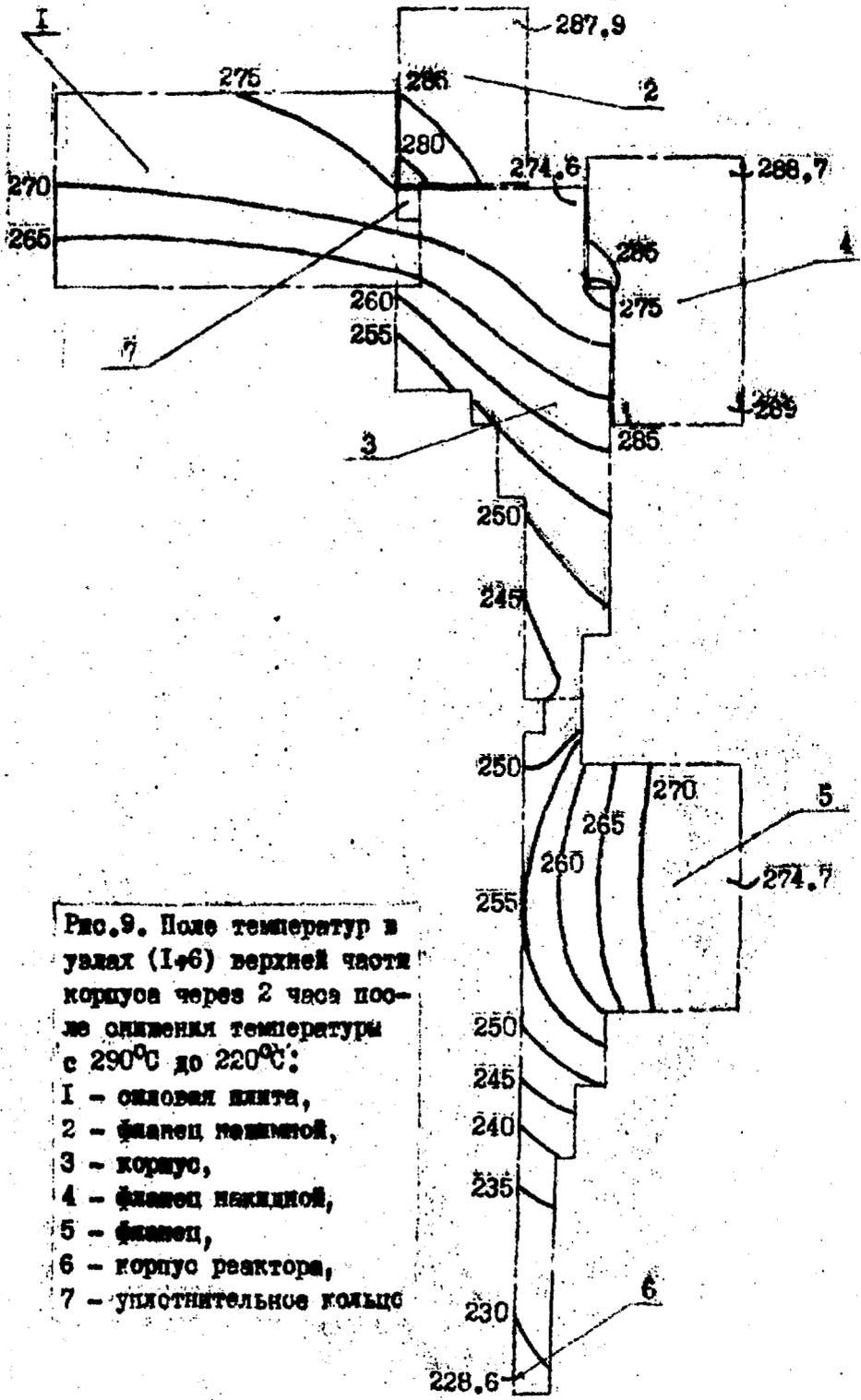


Рис.9. Поле температур в
 узлах (1+6) верхней части
 корпуса через 2 часа по-
 сле снижения температуры
 с 290°C до 220°C:
 1 - опорная вилка,
 2 - фланец нажимной,
 3 - корпус,
 4 - фланец нажимной,
 5 - фланец,
 6 - корпус реактора,
 7 - уплотнительное кольцо

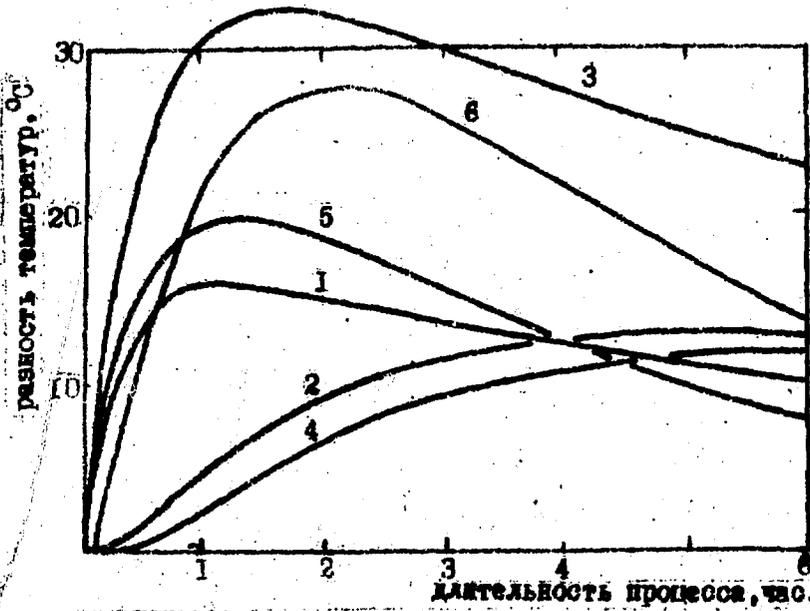


Рис. IО. Максимальная разность температур в узлах верхней части корпуса. Нумерация соответствует рис. 9.

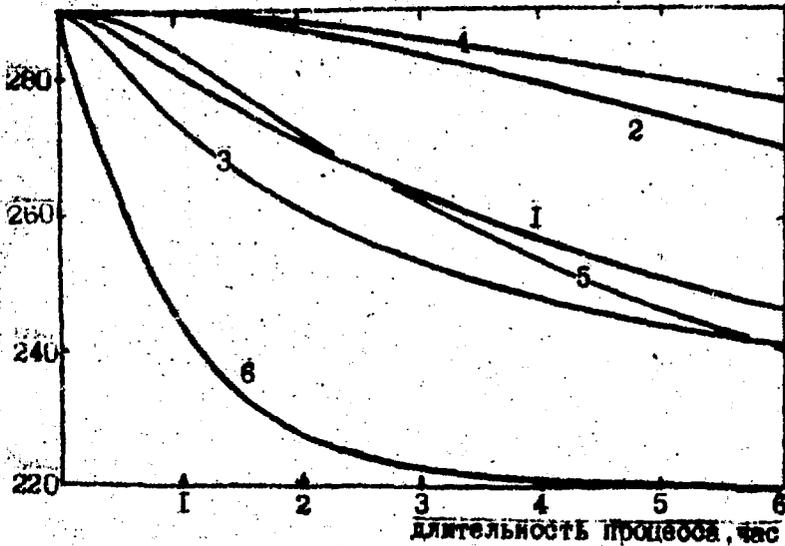


Рис. II. Средняя температура в узлах верхней части корпуса. Нумерация соответствует рис. 9.

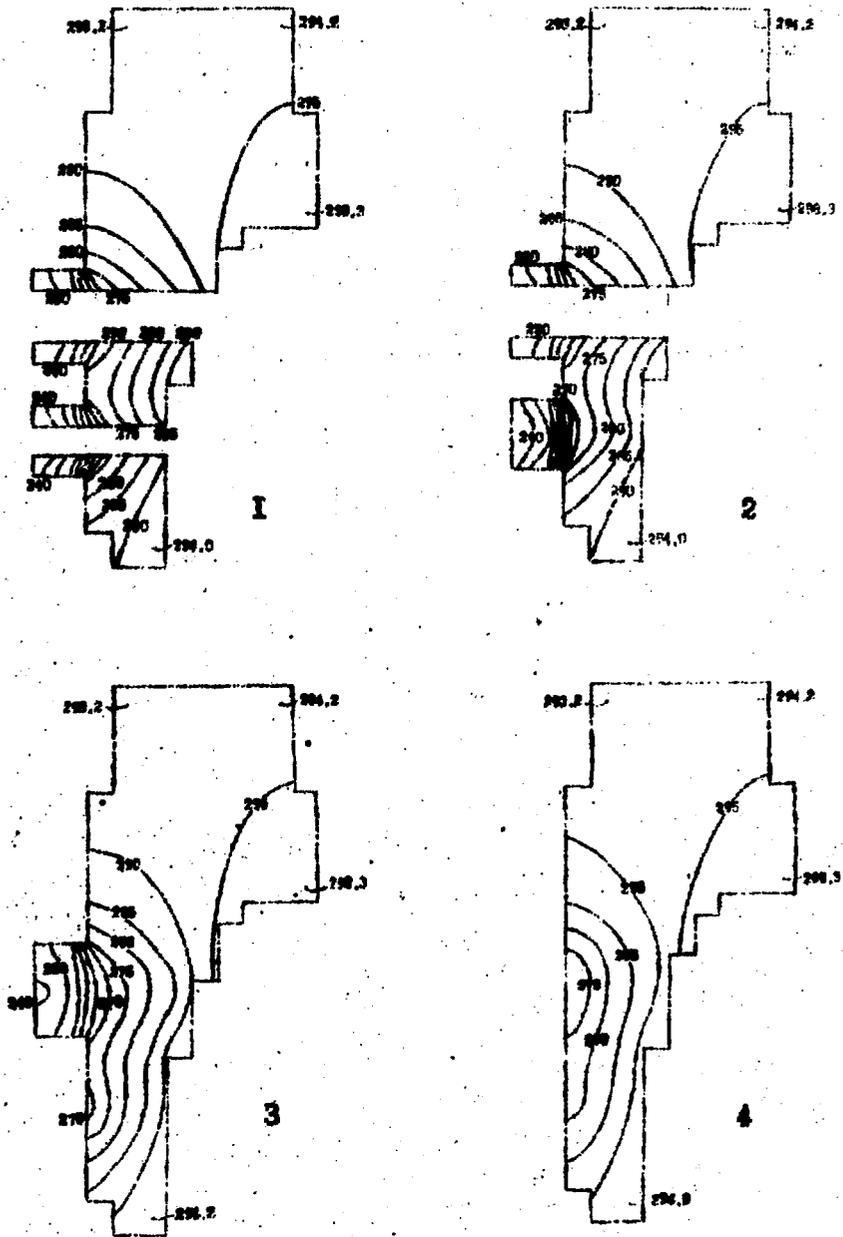


Рис. 12. Поле температур в первых четырех, последовательно по углу расположенных, сечениях I-4 корпуса (поз. 3 по рис. 9).

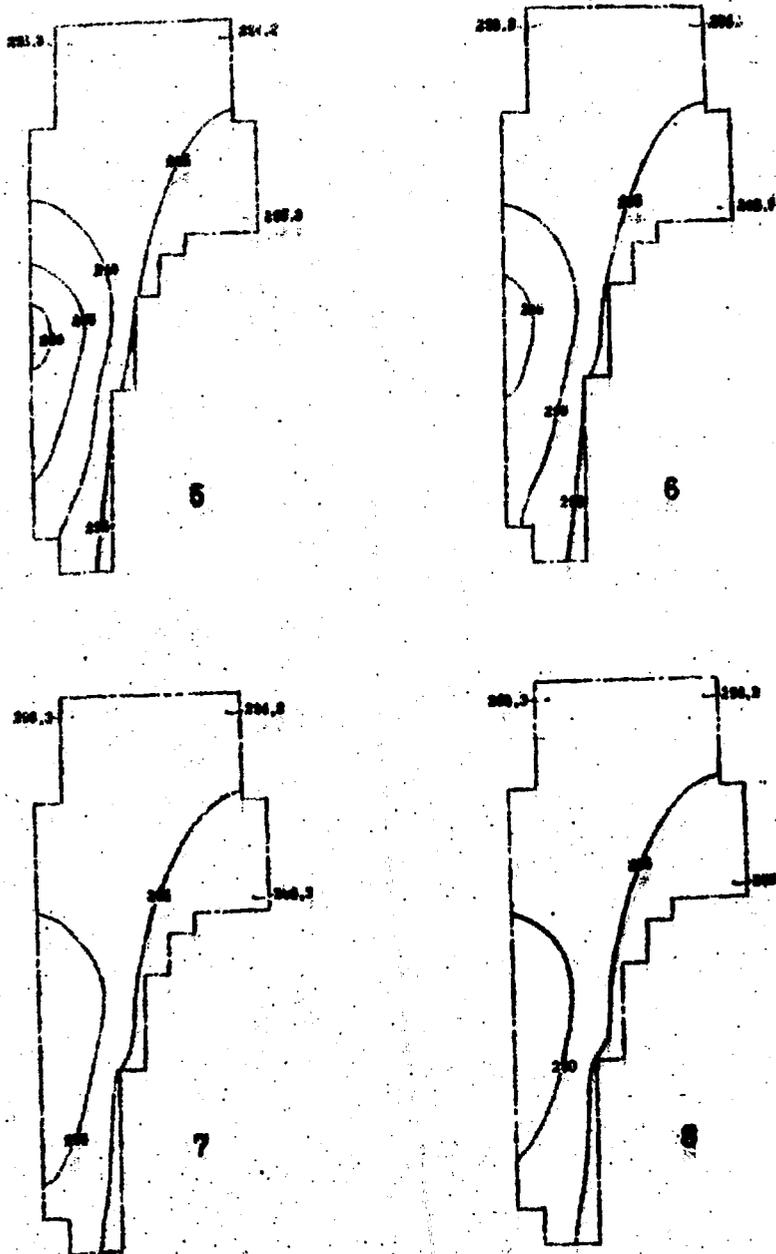


Рис.13. Поле температур в последних четырех, последовательных по углу расположения, сеченьях 5-8 корпуса (исп.3 по рис.9).

Подписано в печать 27/У-1980 г. Т-07794. Формат 60x90 1/16
Обсетная печать Уч.п.л. 1,4 Уч.-изд.л. 0,8 Тираж 104 экз.
Заказ № 757. Издано 3624 Цена 8 коп. 00Н-1019

Отпечатано на ротационной 00Н, г.Обнинск

8 коп.

Индекс 3024

