

РЕСПУБЛИКАНСКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

**ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГНОЗА
ИЗМЕНЕНИЙ
ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА
ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ
ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ**

РСН 67-87

Госстрой РСФСР

Издание официальное

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РСФСР
ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА**

РАЗРАБОТАНЫ производственным объединением
"Стройизыскания" Госстроя РСФСР совместно с институ-
том Фундаментпроект Минмонтажспецстроя СССР

Исполнители: канд геол.-мин наук А И Левкович
("Стройизыскания"), канд геол.-мин наук М А Минкин,
инж С П Дмитриева (Фундаментпроект), Ю.А Попов
("Стройизыскания")

ВНЕСЕНЫ И ПОДГОТОВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ
производственным объединением по инженерно-строитель-
ным изысканиям ("Стройизыскания") Госстроя РСФСР

Вводятся впервые

Государственный комитет РСФСР по делам строительства (Госстрой РСФСР)	Республиканские строительные нормы	РСН 67-87 Госстрой РСФСР
	Инженерные изыскания для строительства Состав- ление прогноза изменений температурного режима веч- номерзлых грунтов числен- ными методами	Вводятся впервые

Настоящие Нормы устанавливают технические требования к производству работ по составлению прогноза изменений темпе-
ратурного режима грунтов для инженерно-геологического обос-
нования строительства новых, реконструкции и расширения дейст-
вующих промышленных предприятий, зданий и сооружений, объек-
тов сельскохозяйственного назначения, а также городов, посел-
ков и сельских населенных пунктов на вечномерзлых грунтах

Требования Норм не распространяются на составление про-
гноза для обоснования строительства гидротехнических, магист-
ральных линейных и подземных сооружений, а также мостовых
переходов

Требованиями Норм следует руководствоваться при инженер-
но-геологическом обосновании строительства на участках талых
грунтов, расположенных в пределах районов распространения
вечномерзлых грунтов, а также при необходимости оценки дина-
мики сезоннопромерзающего слоя в районах с сезонным промерза-
нием

Составление прогноза изменения температурного режима
грунтов необходимо производить в соответствии с требованиями
к порядку составления прогноза мерзлотных инженерно-геологи-
ческих условий, регламентированному РСН 31-83, а также о
общих требованиях к прогнозу изменения инженерно-геологи-

Внесены ПО "Стройизыскания" Госстроя РСФСР	Утверждены постановлением Государственного комитета РСФСР по делам строительства от 20 августа 1987 г. № 152	Срок введения в действие 1 января 1988 г
--	--	--

ческих условий, установленными действующими нормативными документами по изысканиям и проектированию оснований и фундаментов

I ОПИСЬ ПОЛОЖЕНИЙ

I 1 Составление прогноза изменений температурного режима грунтов является необходимым элементом инженерно-геологического обоснования строительства (реконструкции, расширения) объектов народного хозяйства в районах распространения вечномерзлых грунтов

Составление прогноза изменения температурного режима грунтов производится изыскательской организацией при участии проектной организации-заказчика

Участие проектной организации заключается в совместном с изыскательской организацией определении конкретных задач и вариантов прогноза, в предоставлении необходимых исходных данных для каждого варианта прогноза, в совместном с изыскательской организацией обсуждении результатов прогноза

I 2 Составление прогноза изменений температурного режима грунтов производится для ограниченного определенным образом грунтового массива путем последовательного расчета температурных полей в этом массиве, соответствующих любым заданным моментам времени от начала расчета. Температурный режим (совокупность последовательных температурных полей) в грунтовом массиве рассчитывается как результат задаваемых на весь период расчета прогноза тепловых воздействий на верхней, боковых и нижней границах грунтового массива

I.3. Расчет температурного режима грунтов производится для конкретных инженерно-геологических разрезов с учетом естественных изменений температурного режима воздуха и радиационного баланса дневной поверхности, естественных и техногенных условий теплообмена на поверхности грунтов (снежный и растительный покровы, насады, асфальтовые покрытия и т.п.) и техногенных источников и стоков тепла (здания и сооружения).

Расчет температурного режима грунтов производится на основе следующих данных:

материалов инженерно-геологических изысканий (инженерно-геологические разрезы с выделением классификационных разновидностей грунтов, физические и теплофизические свойства последних, естественные температуры грунтов и др.);

технического задания (пространственное размещение проектируемых объектов и проектный температурный режим в них, в том числе температурный режим в проветриваемых подпольях, вентилируемых насыпях и подвалах; при необходимости - пертикальная планировка территории; данные о заглублении проектируемых объектов, физические и теплофизические характеристики материала фундаментов, насыпей, полов и других теплоизоляционных покрытий и др.);

справочных материалов (температурный режим воздуха, радиационный баланс дневной поверхности, мощность и плотность снежного покрова и др.).

1.4. Расчетный срок (время) прогноза определяется расчетным сроком эксплуатации проектируемых объектов, для инженерно-геологического обоснования строительства которых составляется прогноз, и указывается в техническом задании.

Расчет прогноза может быть прекращен ранее в случаях стабилизации температурного режима грунтов в исследуемом грунтовой массиве. Под стабилизацией температурного режима в данном случае понимается наступление динамического равновесия температур в исследуемом массиве с учетом характера изменений тепловых воздействий на верхней границе массива.

1.5. Настоящие Нормы устанавливают правила расчета изменений температурного режима грунтов численным методом решения уравнения нестационарной теплопроводности с фазовыми переходами грунтовой влаги.

Прогноз составляется без учета миграции влаги, конвективного и лучистого теплообмена в грунтах.

При составлении прогноза учитываются:

неоднородность состава, свойств и состояния грунтов в исследуемой грунтовой области;

С.4 РСН 67-87

изменение соотносительных количеств льда и незамерзшей воды в диапазоне температур, принимаемых грунтами;

изменение граничных тепловых условий во времени и пространство;

локальные источники и стоки тепла, расположенные внутри исследуемой грунтовой области.

I.6. Программа *PROGNOZ* имеет 5 модификаций, изложенных в п. 2.3, составлена на языке "ФОРТРАН-IV" и предназначена для использования на ЕС ЭМ с операционной системой ОС ЕС МУТ 6.1 и о памяти не менее 300 килобайт.

I.7. Пакет программ поставляется на магнитной ленте пользователя. Организания держатель подлинника - институт "Фундаментпроект".

2. АЛГОРИТМ И СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ

2.1. Математическая постановка задачи

Процесс распространения тепла в грунте в трехмерном пространстве описывается уравнением

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} U) + F,$$

где $U(M, T)$ - температура грунта в точке $M(x, y, z)$ в момент T ;

$H(M, U, Z)$ - энтальпия (теплосодержание), отнесенная к единице объема грунта;

$\lambda(M, U)$ - коэффициент теплопроводности грунта;

$F(M)$ - плотность тепловых внутренних источников и стоков в единице объема.

Энтальпия является функцией температуры, времени и координат. Так как рассмотренные ниже выводы верны для всех точек пространства, то будем рассматривать энтальпию только как функцию температуры. С учетом теплоты фазовых переходов в грунте, энтальпия равна:

$$H(U) = \int_0^U [C(\xi) + q_p \delta(\xi - U^*)] d\xi,$$

где $\delta(x)$ - дельта-функция Дирака

$$C(\xi) = \begin{cases} C_T, & \xi > u^* \\ C_{эф}(\xi), & \xi < u^* \end{cases} \quad \begin{aligned} & \text{(объемная теплоемкость талого грунта)} \\ & \text{(эффективная теплоемкость мерзлого} \\ & \text{грунта);} \end{aligned}$$

$$C_T(M) = \rho_d(M)(C_d(M) + W_{tot}(M)C_w);$$

$$C_{эф}(M, \xi) = \rho_d(M)C_d(M) + \nu C_A(W_{tot}(M) - W_w(M, \xi))\rho_d(M) + \\ + C_A W_w(M, \xi)\rho_d(M) + \alpha(W_w(M, \xi))'_\xi \rho_d(M);$$

$C_d(M)$ - удельная теплоемкость сухого грунта;

$\rho_d(M)$ - плотность сухого грунта;

C_w - удельная теплоемкость воды;

C_A - удельная теплоемкость льда;

α - теплота фазовых переходов;

$W_{tot}(M)$ - суммарная влажность грунта в долях к весу абсолютно сухого грунта;

$W_w(M, \xi)$ - незамерзшая вода при температуре ξ , принимается в виде $W_w(M, \xi) = \frac{\lambda(M)}{\theta(M) - \xi} + C(M)$;

$A(M), B(M), C(M)$ - коэффициенты, задающие кривую незамерзшей воды при $\xi < \xi^*$.

Задача рассматривается в параллелепипеде $D[(0:\bar{X}) \times (0:\bar{Y}) \times (0:\bar{Z})]$ (т.е. $0 \leq x \leq \bar{X}, 0 \leq y \leq \bar{Y}, 0 \leq z \leq \bar{Z}$), на границах которого задаются краевые условия:

на верхней границе

(2)

а) температура окружающей среды:

$$u(M, t)|_{z=0} = f_a(x, y, t)$$

или

б) теплоток

$$\frac{\partial u(M)}{\partial z}|_{z=0} = \bar{f}(x, y, t)$$

или

в) теплообмен по закону Ньютона

$$\lambda(M)|_{z=0} \frac{\partial u(M)}{\partial z}|_{z=0} = \sigma(M)|_{z=0} [u(M) - \mu(x, y, t)];$$

на нижней границе (3)
температура окружающей среды

$$u(M, t)|_{z=z} = f_n(x, y, t);$$

на боковых границах (4)
постоянный теплопоток

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x}|_{x=0} &= C_1, & \frac{\partial u}{\partial y}|_{y=0} &= C_3 \\ \frac{\partial u}{\partial x}|_{x=N} &= C_2, & \frac{\partial u}{\partial y}|_{y=J} &= C_4. \end{aligned}$$

Начальная температура грунта известна по всем параллелепипеду D :

$$u(M)|_{t=0} = u^0(M). \quad (5)$$

Требуется найти температуру грунта (функцию u) непрерывную в D , удовлетворяющую уравнению (1), крайевым условиям (2)-(4) и начальному условию (5).

2.2. Алгоритм решения задачи

Предлагаемым алгоритмом задача (1)-(5) решается янталь-пийным конечно-разностным методом по явной двухслойной схеме.

В прямоугольнике D вводятся произвольная прямоугольная неравномерная разностная сетка с шагами $h^{(x)}, h^{(y)}, h^{(z)}$ и временная сетка с шагами τ_k :

$$\begin{aligned} h_i^{(x)} &= x_{i+1} - x_i, \omega_x = \{x_i\} = \{x_0 = 0, x_1, x_2, \dots, x_{N_x} = \bar{x}\} \\ h_i^{(y)} &= y_{i+1} - y_i, \omega_y = \{y_i\} = \{y_0 = 0, y_1, y_2, \dots, y_{N_y} = \bar{y}\} \\ h_i^{(z)} &= z_{i+1} - z_i, \omega_z = \{z_i\} = \{z_0 = 0, z_1, z_2, \dots, z_{N_z} = \bar{z}\} \\ \tau_k &= t_{k+1} - t_k \end{aligned} \quad (6)$$

Применяя интегро-интерполяционный метод (метод баланса) построения однородных разностных схем, разностное уравнение, аппроксимирующее уравнение (1) по явной схеме на сетке (6) будет иметь вид:

$$\frac{H_{i,j,k}^{t+1} - H_{i,j,k}^{t+1}}{\tau_k} = (R_1 + R_2)h_j^{(x)}h_k^{(y)}h_i^{(z)} + (R_3 + R_4)h_i^{(x)}h_k^{(y)}h_j^{(z)} + R_5 + R_6h_i^{(x)}h_j^{(y)} + \Delta F_{i,j,k}^{(2)} \quad (7)$$

$$H_{i,j,k}^{\ell+1} = H_{i,j,k}^{\ell} + \tau [(R_1 + R_2) h_i^{(12)} h_j^{(12)} h_k^{(12)} + (R_3 + R_4) h_i^{(23)} h_j^{(23)} h_k^{(23)} + (R_5 + R_6) h_i^{(13)} h_j^{(13)} h_k^{(13)} + \Delta F_{i,j,k}^{\ell}], \quad (8)$$

где $H_{i,j,k}^{\ell}$ - теплосодержание элемента (i, j, k) в момент времени ℓ ;

$R_n, n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ - теплопоток соответственно через верхнюю, нижнюю и четыре боковые грани каждого элемента;

$\Delta F_{i,j,k}^{\ell}$ - изменение энергии внутренних источников в объеме $\Delta V = h_i^{(12)} h_j^{(12)} h_k^{(12)}$ за время τ_{ℓ} .

Для краевых условий I рода соответствующее R_n граничных элементов равно:

$$R_n = 2 \times (M^{\ell} - U_{i,n}) \frac{h_i^{(m)} h_j^{(m)} h_k^{(m)}}{(h_i^{(m)})^2} = 2 (M^{\ell} - U_{i,n}) \frac{h_i^{(m)} h_j^{(m)} h_k^{(m)}}{h_i^{(m)}},$$

где $M^{\ell} = f_2(x_i, y_j, z_k, t^{\ell})$;

для краевых условий II рода

$$R_n = \gamma^{\ell},$$

где $\gamma^{\ell} = \bar{f}$, заданная величина теплового потока;

для краевых условий III рода

$$R_n = (M^{\ell} - U_i^{\ell}) \frac{\frac{1}{\frac{h_i^{(m)}}{2\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{пов}}} + R_{пов}^{(m)}}{\frac{h_i^{(m)}}{\lambda_i} + 2 \left(\frac{1}{\alpha_{пов}} + R_{пов}^{(m)} \right)},$$

где M^{ℓ} - температура внешней среды;

$R_{пов}$ - термическое сопротивление;

$\alpha_{пов}$ - коэффициент конвективного теплообмена.

При решении задачи на шаге ℓ по известной температуре и энтальпии H^{ℓ} в каждом элементе определяется энтальпия на шаге $\ell+1$ по формуле (8). Так как существует взаимно однозначное соответствие между энтальпией и температурой, то находим температуру каждого элемента на слое $\ell+1$. Затем определяем энтальпию $H^{\ell+2}$ и т.д.

Расчетные формулы для определения энтальпии и температуры по известной энтальпии следующие:

По определению полная энтальпия

$$H(u) = \int_0^u C(\xi) + \alpha \rho_d (W_{\text{лот}} - W_w(u^*)) \delta(\xi - u^*) d\xi,$$

где $C(\xi)$ — теплоемкость грунта (рис. 1)

$$C(\xi) = \begin{cases} C_{\text{эф}}(\xi), & \xi < u^* \\ C_{\text{тая}}, & \xi > u^*. \end{cases}$$

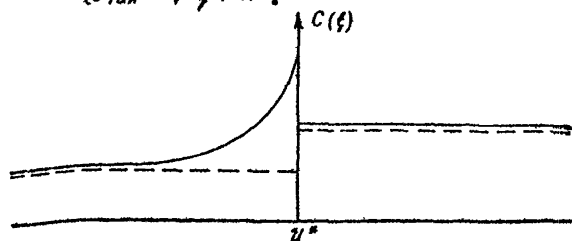


Рис. 1. График изменения теплоемкости по температуре

- без учета фазовых переходов в спектре отрицательных температур;
- то же с учетом фазовых переходов в спектре отрицательных температур.

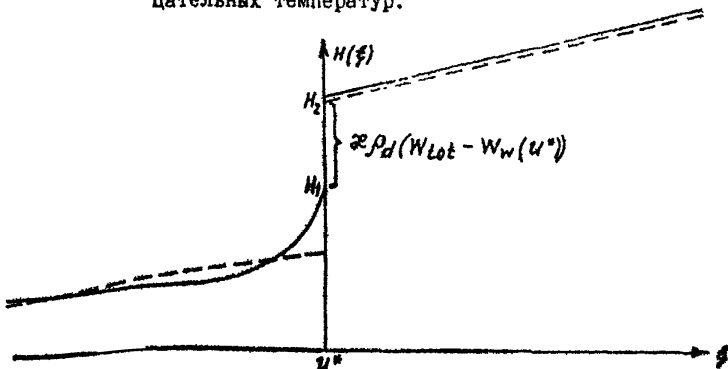


Рис. 2. График изменения энтальпии по температуре

Все дальнейшие расчеты проводятся с учетом фазовых переходов в спектре отрицательных температур. Незамороженная вода учитывается в виде $W_w(\xi) = \frac{A}{B-\xi} + M$.

Критические значения энтальпии:

$$H_1 = H(U^* - \varepsilon) = \rho_d (Cd + 0.5(W_{lot} + M))(U^* - K) - A\rho_d \left[0.5\ell_n \frac{|U^* - B|}{|K - B|} + \varepsilon \frac{K - U^*}{(K - B)(U^* - B)} \right].$$

Здесь и далее K - условная температура в градусах Цельсия, при которой теплосодержание (энтальпия) принимается равной нулю. (Абсолютный нуль $K = -273^\circ\text{C}$).

$$H_2 = H(U^* + \varepsilon) = H_1 + \varepsilon \rho_d (W_{lot} - W_w(U^*)).$$

Энтальпия определяется по следующим формулам (рис. 2):

если $U^* > U^* + \varepsilon$, то

$$H(U^*) = H_2 + \int_{U^*}^{U^*} C_{\text{тол}} d\xi = H_2 + \rho_d (Cd + W_{lot})(U^* - U^*) = H_2 + C_{\text{тол}}(U^* - U^*);$$

если $U^* < U^* + \varepsilon$, то

$$H(U^*) = \int_K^{U^*} C_{\text{эф}}(\xi) d\xi = \rho_d (Cd + 0.5(W_{lot} + M))(U^* - K) - A\rho_d \left[0.5\ell_n \frac{|U^* - B|}{|K - B|} + \varepsilon \frac{K - U^*}{(K - B)(U^* - B)} \right].$$

По известной энтальпии температура определяется:

если $H(U^*) > H_2$, то

$$U^* = \frac{H(U^*) - H_2}{C_{\text{тол}}} + U^*;$$

если $H_1 < H(U^*) < H_2$, то

$$U^* = U^*;$$

если $H(U^*) < H_1$, то U^* определяется линейной интерполяцией по значениям табличной функции энтальпии, составляемой для каждого слоя грунта.

2.3. Структура программы

Алгоритм, описанный выше, реализован в программе *PROGNOZ*. Связь между частями программы представлена на рис. 3.

Программа *PROGNOZ* имеет 5 модификаций:

1. *PROGNOZ -3S*

Решается задача по трехмерной расчетной схеме. Главная (управляющая) программа *MAIN* составляется для каждого варианта прогноза. В программе *MAIN* вводятся исходные массивы начальной температуры и некоторые другие исходные данные. Размерности массива, индивидуальные для каждого варианта прогноза, заданы в операторах описания.

Из программы *MAIN* происходит обращение к подпрограмме *WNS*. В ней определяются коэффициенты A , B и C для вычисления количества незамерзшей воды в каждом слое грунта, по формуле $W_w(U) = \frac{A}{B-U} + C$ где $U < 0$ - температура грунта. Для контроля выдается на печать таблица получаемых значений W_w от U при $-30 \leq U < 0$.

Из подпрограммы *WNS* полученные массивы $A(N)$, $B(N)$, $C(N)$ передаются в *MAIN*.

В подпрограмме *GRUND* определяются одно- двух- или трех- мерные температурные поля в заданном массиве грунтов. Здесь используются подпрограмма-функция *HF* и подпрограмма *FIND*. $HF(N, U)$ вычисляет энтальпию I м³ грунта в N -ом слое при температуре $U < U_{KR}$ (критическая температура фазовых переходов). Для расчета функция *HF* использует физико-механические и теплофизические свойства грунтов, введенные подпрограммой *BLOCK DATA*.

Подпрограмма *FIND(N1, N1, U1)* определяет температуру $U1$ в слое грунта с номером $N1$ по энтальпии $HN1$, если $HN1 < H1(N1)$, т.е. если $HN1$ соответствует энтальпии мерзлого грунта. *FIND* использует общую область *TABL*, в которой содержатся таблицы значений энтальпии по температуре от 0 до -50°C по всем грунтовым слоям, вычисленные с помощью функции *HF*.

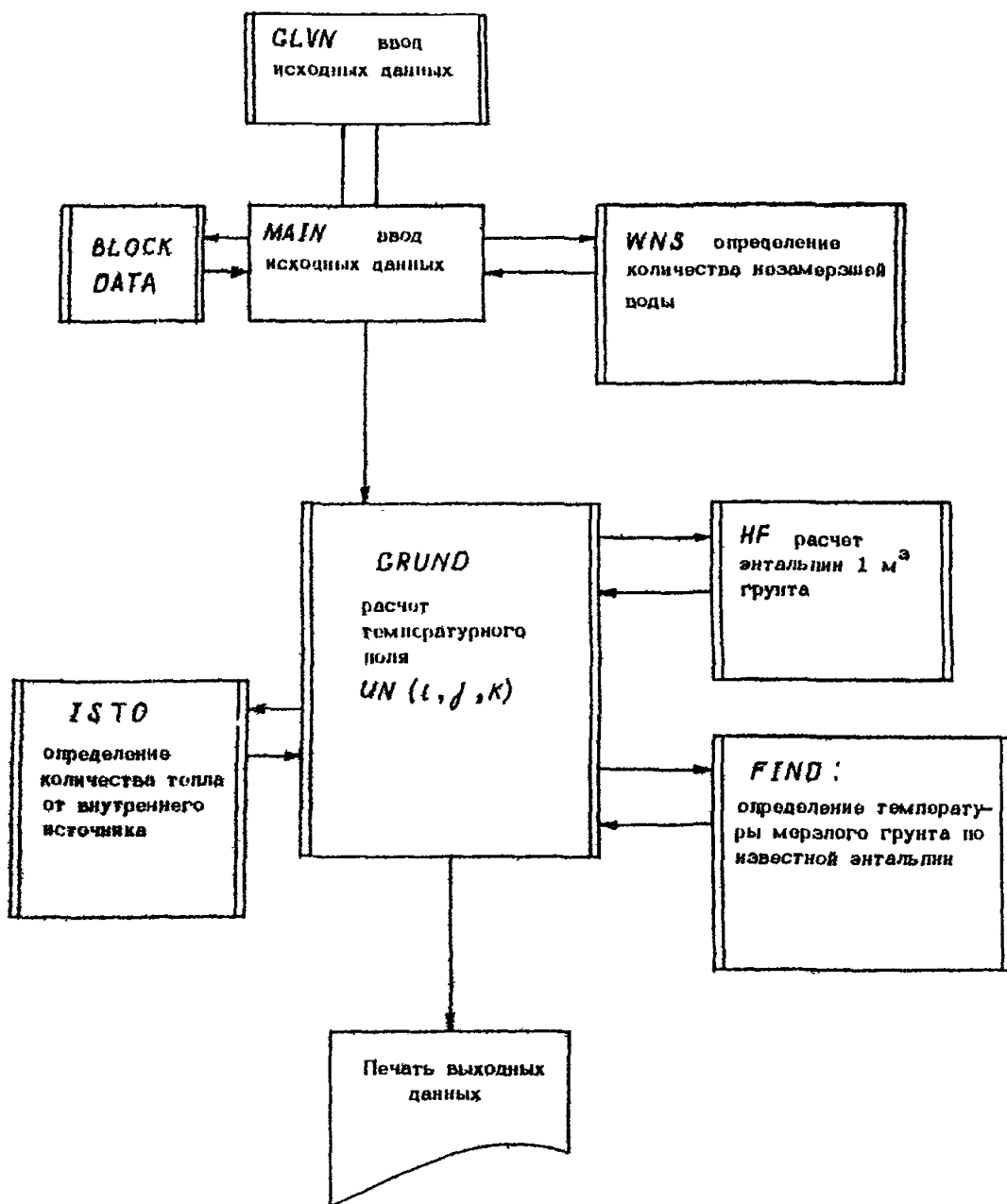


Рис 3. Межмодульные связи в программе *PROGNOZ*

Подпрограмма *ISTO*(*i, j, k, T, F*) учитывает влияние источников тепла и охлаждающих установок, находящихся внутри массива грунта. Результат работы подпрограммы присваивается простой переменной *F*, где *F* – тепло, выделяемое внутренними источниками (стоками) в единицу времени (час) в фиксированном элементе (*i, j, k*) грунтового массива в момент времени *T*.

Алгоритм подпрограммы может быть составлен как по экспериментальным данным, так и по теоретическим расчетам применительно к конкретному случаю.

Для обращения к подпрограмме *ISTO* в подпрограмме *GRUND* (рекомендуемое приложение 2) следует заменить оператор *F = 0.0* с номером 0000399 на обращение к подпрограмме *ISTO*:

CALL ISTO (*i, j, k, T, F*).

В подпрограмме *GRUND* выводятся на печать значения рассчитанного температурного поля.

Пример текста подпрограммы *ISTO* приведен в рекомендуемом приложении 2.

2. PROGNOZ - 3N

Задача решается по трехмерной расчетной схеме. Отличие от *PROGNOZ-3S* в том, что вся исходная информация вводится только с перфокарт, изменений текста не требуется. Максимальное количество элементов в расчетной области – 3000. Ввод данных осуществляется в управляющей программе *MAIN3N* и подпрограмме *GLVN3N*.

Подпрограмма *BLOCK DATA* отсутствует.

3. PROGNOZ - 2S

Эта подпрограмма отличается от *PROGNOZ-3S* тем, что рассчитывает только двух- и одномерные температурные поля. Программы *MAIN* и *BLOCK DATA* составляются для каждого варианта прогноза. Расчет двухмерных задач по модификации *PROGNOZ-2S* сокращает время расчета по отношению к *PROGNOZ-3S* приблизительно в 1,5 раза.

4. PROGNOZ - 2N

Аналогично *PROGNOZ-2S* рассчитывает только двух- и одномерные температурные поля. Вся исходная информация

вводится только с перфокарт. Ввод данных осуществляется в подпрограмме *MAIN2N* и подпрограмме *SLW2N*. Подпрограмма *BLOCK DATA* отсутствует. Максимальное количество элементов в расчетной области - 3000.

5. *PROGNOZ - L*

Решается двухмерная задача. Верхняя граница области исследования может быть задана ступенчатой линией.

Ввод данных аналогичен *PROGNOZ - 2N*. Максимальное количество элементов (с учетом фиктивных) в расчетной области - 3000.

3. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА

3.1. Расчетная область

Расчетная область исследования может быть задана трехмерной, двухмерной или одномерной. Так как в грунтах теплообмен всегда пространствен, т.е. трехмерен, то в трехмерной расчетной области может решаться любая задача прогнозирования. В этом случае любая точка M грунта определяется координатами (x, y, z) в прямоугольной системе координат. В ряде случаев задача может быть сведена к двухмерной и даже одномерной, что более выгодно и удобно при расчете на ЭВМ.

Алгоритм составлен и может быть применен для расчетных областей, ограниченных прямоугольной верхней границей, в контурах которой фиксированы в плане тепловыделяющие объекты. В трехмерном случае область исследования параллелепипед, в двухмерном - прямоугольник и в одномерном - прямая. Для создания объема в двухмерной и одномерной областях задаются по направлениям, в которых размеры не определяются, единичные размеры, равные 1 м.

Область исследования фиксируется прямоугольной системой координат, с центром O в одной из вершин параллелепипеда и направлением осей: Z - в вертикальном направлении, x и y в горизонтальных. Направление горизонтальных осей x и y совпадает с осевыми линиями тепловыделяющих объек-

тов. Величина ребер параллелепипеда определяет размеры области исследования. Его грани являются границами области исследования.

Различаются верхняя, нижняя и четыре боковые границы (соответственно верхняя, нижняя и четыре боковые грани параллелепипеда).

Теплопоток через боковые границы области исследования должен быть постоянен во времени и по всей плоскости грани. Исходя из этого, определяются размеры области исследования.

На практике чаще применяется условие отсутствия теплопотока через боковые границы. Тогда для тепловыделяющих сооружений расстояние от их контура в плане до боковой границы области исследования должно быть в 2,5-3 раза больше, чем размеры самого здания в том же направлении.

Положение нижней границы (глубина области исследования) выбирается ниже глубины распространения годовых колебаний температуры в грунтах и зависит от интенсивности тепловыделения на верхней границе, а также срока прогнозного расчета.

При естественных условиях теплообмена на верхней границе, или без наличия тепловыделяющих сооружений эта глубина должна быть не менее 15-20 м. В остальных случаях она должна быть на 10 м больше максимальной глубины чаши оттаивания, определенной расчетом по СНиП П-19-76.

При определении области исследования следует исходить также из экономии времени счета на ЭВМ. Для этого следует использовать возможную симметричность задачи, а также возможность сведения трехмерной области с двумерной или одномерной.

Если задача симметрична, или может быть сведена к симметричной, то в трехмерной задаче плоскость (или плоскости) симметрии, а в двумерной ось (или оси) симметрии должны быть границами области исследования с условием отсутствия теплообмена на них.

3.2. Разбивка области исследования

Область исследования разбивается на прямоугольные элементы произвольных размеров (рис. 4).

Разбивка производится горизонтальными и вертикальными плоскостями (разбивочными плоскостями), параллельными соответствующим границам области в следующем порядке:

на верхней и нижней границах области исследования выделяются зоны с различным режимом теплообмена грунта с окружающей средой. На каждой из этих границ может быть выделено до 9 таких зон;

границы выделенных зон с различным режимом теплообмена должны быть параллельны боковым границам области исследования. Если граница выделенной зоны не отвечает этому требованию, то она замещается ступенчатой линией со "ступеньками", аппроксимирующими ее контур и удовлетворяющими указанному требованию;

после построения границ зон через каждую прямую, образующую "ступеньки", как на верхней, так и на нижней границах области исследования проводится разбивочные плоскости;

криволинейные границы литологических разностей заменяются ступенчатыми, с плоскостями образующих их "ступенек", параллельными границам области исследования;

проводятся разбивочные плоскости через плоскости полученных "ступенек";

проводятся остальные разбивочные плоскости так, чтобы в зоне возможных фазовых переходов грунтовой влаги размеры ребер получаемых прямоугольных элементов в направлении теплообмена составляли от 0,5 до 2 м. Размер ребер тех же элементов в перпендикулярных направлениях может быть соответственно в 2-3 раза больше. Вне зоны возможных фазовых переходов и влияния тепловыделяющих объектов размер элементов в направлении теплообмена может быть постепенно увеличен до 6-8 м.

По каждому направлению число элементов не должно превышать 100.

В результате проведенного разбиения область исследования состоит из прямоугольных элементов разных размеров. Каждая выделенная литологическая разность представлена целым числом элементов. В контурах зон с различным режимом теплообмена на верхней и нижней границах содержится целое число элементов (в плане).

Полученное разбиение остается постоянным на все время проведения расчета.

За каждым элементом закрепляется трехзначный индекс (i, j, k) , где i определяет номер элемента по направлению оси Z , j - по направлению оси "X" и k - по направлению оси Y .

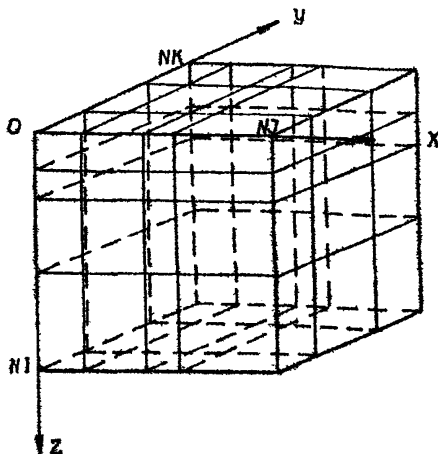


Рис. 4. Пример разбиения области исследования

Фиксируется число расчетных элементов по направлению осей.

Обозначим их соответственно NI , NJ , NK . Произведение $P = NI \times NJ \times NK$ определяет число расчетных элементов во всей области исследования.

При решении двухмерной задачи $NK = 1$. При решении одномерной $NK = 1$ и $NJ = 1$.

3.3. Начальные условия

В каждом полученном элементе области исследования задаются начальные условия (U^0), т.е. температуры грунта, соответствующие времени начала расчета. Эти температуры назначаются в геометрических центрах элементов и считается, что каждый элемент характеризуется температурой его центра. Последнее положение также относится к любым температурным полям, полученным в процессе расчета задачи.

Начальное распределение температур в области исследований назначается по данным термокаротажных работ. Время проведения этих работ считается моментом начала расчета.

Начальная температура (U^0) ни в одном из элементов не может назначаться равной температуре начала фазовых переходов (U^*). В этом случае задается температура $U^0 \pm \varepsilon$, где $\varepsilon = 0,001^\circ\text{C}$.

Начальная температура грунта U^0 записывается в табл. I по "разрезам", сделанным параллельно оси j области исследования для каждого фиксированного значения K , где $1 \leq K \leq NK$.

3.4. Граничные условия

Граничные условия задаются на каждой границе области исследований на все время расчета температурного режима.

На верхней границе области исследования задаются независимые друг от друга граничные условия в каждой выделенной зоне с различным режимом теплообмена грунта с внешней средой.

Количество граничных условий на нижней границе определяется количеством выделенных на границе зон с различным режимом теплообмена. В одномерных задачах на верхней и нижней границах задается только одно граничное условие.

На каждой из боковых границ области исследования задается по одному граничному условию.

Различают граничные условия I, II и III рода.

Условие I рода - известна температура грунта на поверхности границы.

Условие II рода - известен теплоток через поверхность границы.

K=I

$i \backslash j$	$j=1$	$j=2$	. . . . .	$j = NJ$
$i=1$	$u(1,1,1)$	$u(1,2,1)$	. . . . .	$u(1,NJ,1)$
$i=2$	$u(2,1,1)$	$u(2,2,1)$	. . . . .	$u(2,NJ,1)$
$i=3$	$u(3,1,1)$	$u(3,2,1)$	. . . . .	$u(3,NJ,1)$
.	.	.		.
.	.	.		.
.	.	.		.
$i=Nl$	$u(Nl,1,1)$	$u(Nl,2,1)$	. . . . .	$u(Nl,NJ,1)$

K=2

$i \backslash j$	$j=1$	$j=2$	. . . . .	$j = J$
$i=1$	$u(1,1,2)$	$u(1,2,2)$	. . . . .	$u(1,NJ,2)$
$i=2$	$u(2,1,2)$	$u(2,2,2)$	. . . . .	$u(2,NJ,2)$
$i=3$	$u(3,1,2)$	$u(3,2,2)$	. . . . .	$u(3,NJ,2)$
.	.	.		.
.	.	.		.
.	.	.		.
$i=Nl$	$(Nl,1,2)$	$(Nl,2,2)$	. . . . .	$(Nl,NJ,2)$

и т.д.

K= NK

$i \backslash j$	$j=1$	$j=2$	. . . . .	$j = J$
$i=1$	$u(1,1,NK)$	$u(1,2,NK)$	. . . . .	$u(1,NJ,NK)$
$i=2$	$u(2,1,NK)$	$u(2,2,NK)$	. . . . .	$u(2,NJ,NK)$
$i=3$	$u(3,1,NK)$	$u(3,2,NK)$	. . . . .	$u(3,NJ,NK)$
.	.	.		.
.	.	.		.
.	.	.		.
$i=Nl$	$u(Nl,1,NK)$	$u(Nl,2,NK)$	. . . . .	$u(Nl,NJ,NK)$

Условие III рода - теплообмен через границу области исследования определяется температурой окружающей среды и коэффициентом теплообмена, т.е. происходит по закону Ньютона.

$$q = \alpha (u_n - t_s),$$

где Q - количество приходящего к поверхности грунта или уходящего от него тепла, кДж (ккал);

α - коэффициент теплоотдачи с поверхности грунта,

$$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad \text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{ч});$$

u_n - температура поверхности грунта, $^\circ\text{C}$;

t_s - температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$.

Граничные условия верхней границы изменяются с периодом повторения $T_{\text{пер}}$, назначаемым в исходных данных расчета. На практике наиболее часто употребляется $T_{\text{пер}} - \text{I год} = 8760 \text{ часов}$.

Период счета разбит на интервалы. Если период год, то интервалов 12 (12 месяцев) или 36 (36 декад). Количество интервалов задается в исходных данных переменной LI . На верхней границе области исследования, в каждой выделенной зоне с различным режимом теплообмена грунта с внешней средой, для каждого интервала периода счета задаются следующие средние значения за этот интервал величин, определяющих теплообмен в зависимости от рода краевых условий в зоне:

для условий I рода задается температура поверхности грунта, $^\circ\text{C}$;

для условий II рода задается величина теплопотока, кДж (ккал);

для условий III рода задаются:

t_s - температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$;

$R_{\text{пог}}$ - термическое сопротивление поверхности грунта,

$$\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}/\text{ккал};$$

$\alpha_{\text{пог}}$ - коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad \text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$.

На любой момент времени от начала счета значения этих величин определяются линейной интерполяцией между значениями их в соседних интервалах.

На нижней границе задаются условия теплообмена 1 рода. При этом в каждой выделенной зоне значения температуры могут быть только постоянными на все время проведения расчета.

На каждой из 4-х боковых границ задаются условия 2 рода. Теплоток на каждой границе постоянен на все время проведения расчета и по всей плоскости грани. Для граничных условий верхней границы заполняется табл. 2. При этом каждой выделенной зоне присваивается постоянный номер от 1 до M , где $M \leq 9$.

После закрепления номеров за каждой зоной краевых условий верхней границы заполняется табл. 3. Каждое значение $KL(j, K)$ этой таблицы имеет вид:

$$KL(j, K) = KOL \cdot NP \cdot MD \cdot MDK,$$

$$\text{где } KOL = \begin{cases} 0, & \text{если во всех элементах } (i, j, K), \text{ где } 1 \leq i \leq NI, \\ & \text{а } j, K \text{ фиксированы, внутренние источники отсутствуют;} \\ 1, & \text{если внутренние источники присутствуют хотя бы} \\ & \text{в одном из элементов } (i, j, K), \text{ где } 1 \leq i \leq NI, \\ & \text{а } j, K \text{ фиксированы;} \end{cases}$$

NP – номер типа источника, $NP = 1, 2, \dots, 9$. Если источник отсутствует $NP = 1$;

MD – номер зоны краевых условий верхней границы, в которой находится элемент (i, j, K) области исследования;

MDK – номер зоны краевых условий нижней границы для соответствующего элемента (NI, j, K) области исследования.

Для двумерной задачи табл. 3 состоит из одного столбца для $K=1$, для одномерной из одного числа $KL(1, 1)$.

Таблица 2

Номер зоны	Род крайних условий в зоне	месяц (или декада)	I II III IV . . . XII
		характеристики	
I	III	Температура окружающей среды t , °C Термическое сопротивление R , м ² ·°C/Вт (м ² ·ч·°C/ккал) Коэффициент теплообмена α , Вт/(м ² ·°C), ккал/(м ² ·ч·°C)	
2	I	Температура на поверхности грунта t , °C	
3	II	Теплоток Q , кДж (ккал)	
4	III	Температура окружающей среды t , °C Термическое сопротивление R , м ² ·°C/Вт (м ² ·ч·°C/ккал) Коэффициент теплообмена α , Вт/(м ² ·°C), ккал/(м ² ·ч·°C)	

и т.д. для каждой выделенной зоны.

Таблица 3

$j \backslash K$	K=I	K=2	K=NK
$j=I$	$KL(I, I)$	$KL(I, 2)$	$KL(I, NK)$
$j=2$	$KL(2, I)$	$KL(2, 2)$	$KL(2, NK)$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$j=NJ$	$KL(NJ, I)$	$KL(NJ, 2)$	$KL(NJ, NK)$

3.5. Физические и теплофизические свойства

Расчетная область может содержать до 10 литологических разностей, характеризующихся следующими свойствами, учитываемыми алгоритмом:

ρ_d - плотность сухого грунта кг/м³;

W_{tot} - весовая влажность грунта, доли единицы;

C_d - удельная теплоемкость скелета, кДж/(кг·°C), ккал/(кг·°C);

λ_t - коэффициент теплопроводности грунта в талом состоянии Вт/(м·°C), ккал/(м·ч·°C);

λ_m - коэффициент теплопроводности грунта в мерзлом состоянии Вт/(м·°C), ккал/(м·ч·°C);

U^* - температура начала фазовых переходов, °C;

W_w - количество незамерзшей воды в диапазоне отрицательных температур, доли, задаваемой кривой

$$W_w = \frac{A}{B - U} + C,$$

где A, B, C - коэффициенты, определяющие количество незамерзшей воды в данной литологической разности.

Все вышеуказанные свойства должны быть определены для каждой литологической разности по лабораторным данным, справочным или нормативным документам. Они остаются неизменными для всего времени счета.

Составляется табл. 4. При этом каждой литологической разности присваивается постоянный номер от 1 до NSL, где NSL ≤ 10.

Таблица 4

Номер лито- логи- ческой разно- сти	ρ_d , кг/м ³	C_d , ккал/(кг·°C)	W_{tot} , доли	λ_m , Вт/(м·°C), ккал/(м·ч·°C)	λ_t , Вт/(м·°C), ккал/(м·ч·°C)	U^* , °C	W_w , доли
1							
2							
и т.д.							
до							
NSL ≤ 10							

В графе W_w помещается информация о незамерзшей воде в данном слое. Если известна кривая, то есть уже известны коэффициенты A, B, C ее задающие, то записываются значения коэффициентов. Если известны лабораторные данные, то приводятся они. Например: $W_w(t_1)=W_1, W_w(t_2)=W_2$ и так далее не менее трех значений. Если в расчете $W_w = 0$, то коэффициенты, задающие кривую незамерзшей воды в данном слое будут равны: $A \approx 0, B \gg 1, C \approx 0$.

После закрепления номеров за каждой литологической разностью заполняется табл. 5, структура которой повторяет табл. 1. Таблицей 5 за каждым элементом (i, j, K), полученным при разбивке области исследования, закрепляется номер той литологической разности, которой он принадлежит.

Каждое значение $N(i, j, K)$ в табл. 5 может быть только целым числом от 1 до NSL , где $NSL \leq 10$ - число выделенных литологических разностей.

3.6. Дополнительные данные, необходимые для проведения расчета

Для проведения расчета необходимо также определить значение следующих величин, задействованных алгоритмом.

Шаг по времени. Размеры элементов и шаг по времени связаны между собой следующим соотношением:

$$\Delta t \leq \frac{\min_{1 \leq i \leq NSL} C_M^{(i)}}{2 \cdot n \cdot \max_{1 \leq i \leq NSL} \lambda_M^{(i)}} \times \min(\Delta h)^2,$$

где Δt - шаг по времени, ч;

i - номер грунтовой разности;

NSL - число выделенных грунтовых разностей;

$C_M^{(i)} = \rho_d [C_d + \nu C_s W_w]$ - теплоемкость мерзлого грунта i -го слоя при $W_w = 0$, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, $\text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$;

W_w - количество незамерзшей воды, доли;

ρ_d - плотность сухого грунта, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C_d - удельная теплоемкость сухого грунта, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

C_s - удельная теплоемкость льда, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, $\text{ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

ν - коэффициент объемного расширения, $\nu = I, I$;

K=I

$i \backslash j$	$j=I$	$j=2 \dots \dots \dots j=NJ$
$i=I$	$N(I, I, I)$	$N(I, 2, I) \dots \dots \dots N(I, NJ, I)$
$i=2$	$N(2, I, I)$	$N(2, 2, I) \dots \dots \dots N(2, NJ, I)$
\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots
$i=Nl$	$N(Nl, I, I)$	$N(Nl, 2, I) \dots \dots \dots N(Nl, NJ, I)$

K=2

$i \backslash j$	$j=I$	$j=2 \dots \dots \dots j=NJ$
$i=I$	$N(I, I, 2)$	$N(I, 2, 2) \dots \dots \dots N(I, NJ, 2)$
$i=2$	$N(2, I, 2)$	$N(2, 2, 2) \dots \dots \dots N(2, NJ, 2)$
\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots
$i=Nl$	$N(Nl, I, 2)$	$N(Nl, 2, 2) \dots \dots \dots N(Nl, NJ, 2)$

и т.д.

K= NK

$i \backslash j$	$j=I$	$j=2^* \dots \dots \dots j=NJ$
$i=I$	$N(I, I, K)$	$N(I, 2, K) \dots \dots \dots N(I, NJ, NK)$
$i=2$	$N(2, I, K)$	$N(2, 2, K) \dots \dots \dots N(2, NJ, NK)$
\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots
$i=Nl$	$N(Nl, I, K)$	$N(Nl, 2, K) \dots \dots \dots N(Nl, NJ, NK)$

W_{tot} - весовая влажность грунта, доли;

λ_m - коэффициент теплопроводности мерзлого грунта,
Вт/(м·°C), ккал/(м·ч·°C);

n - мерность области исследования, $1 \leq n \leq 3$;

Δh - размер ребра элемента.

Шаг по времени может быть изменен в процессе счета NT раз, где $NT \geq 1$.

Время изменения расчетного шага от начала расчета задается одномерным массивом TR размерностью NT .

$$TR(1) = T_{изм}^{(1)}, TR(2) = T_{изм}^{(2)}, \dots, TR(NT) = T_{изм}^{(NT)},$$

где $T_{изм}$ - время изменения шага от начала счета в часах.

Отсчет происходит от момента начала счета, т.е. от 0.

Сределяется $T_{кон}$ (час) - время окончания решения задачи. Заданы $T_1, T_2, T_3, \dots, T_p$ - время выдачи результатов расчета на печать (в часах). Время последней выдачи результата T_p обязательно меньше $T_{кон}$ на один шаг по времени. В противном случае счет может прекратиться раньше, чем будет получен последний результат.

Определяются интервалы, через которые происходит очередная выдача результатов на печать.

$$H_{печ}^{(1)} = T_1, H_{печ}^{(2)} = T_2 - T_1, H_{печ}^{(3)} = T_3 - T_2 \text{ и т.д.}$$

$$H_{печ}^{(p-1)} = T_p - T_{p-1}.$$

Для последующего ввода в ЭММ формируется одномерный массив $HPRI$ размерностью INT . Размерность INT массива зависит от того, с постоянным шагом выдаются результаты расчета или нет.

$$INT = \begin{cases} 2, & \text{выдача производится с постоянным шагом;} \\ P+1, & \text{выдача производится с переменным шагом.} \end{cases}$$

Если $INT = 2$, то $HPRI(1) = -1, 0$, $HPRI(2) = H_{печ}$.

Если $INT = P+1$, то $HPRI(1) = P$, $HPRI(2) = T_1$, $HPRI(3) = H_{печ}$, $HPRI(4) = H_{печ}$ и т.д. $HPRI(INT) = H_{печ}^{(p-1)}$.

Задание печати распределения температур

Для удобства обработки информации, получаемой в результате расчета, фиксируются необходимые для анализа температурного режима "линии разрезов", по которым выдается на печать распределение температур.

Положение "разрезов", параллельных плоскости ZOX, задается координатой K элементов, составляющих этот разрез.

Формируется массив целых чисел KP размерностью KW , где KW - число выдаваемых на печать "разрезов" по направлению K . Если по этому направлению ни одного разреза выдавать на печать не надо, то $KW = 1$ и $KP(1) = 0$. В противном случае $KP(1) = K_1$, $KP(2) = K_2$ и т.д. $KP(KW) = K_{KW}$, где $K_1 < K_2 < \dots < K_{KW}$, $KW \leq 100$.

Положение "разрезов", параллельных плоскости ZOY, задается координатой j элементов, составляющих этот разрез.

Формируется массив целых чисел jP размерностью jW , где jW - число выдаваемых на печать "разрезов" по направлению j . Если по этому направлению ни одного разреза выдавать на печать не надо, то $jW = 1$ и $jP(1) = 0$. В противном случае $jP(1) = j_1$, $jP(2) = j_2$ и т.д. $jP(jW) = j_{jW}$, где $j_1 < j_2 < \dots < j_{jW} \leq 100$.

Положение "разрезов", параллельных плоскости XOY, задается координатой l элементов, составляющих этот разрез.

Формируется массив целых чисел lP размерностью lW , где lW - число выдаваемых на печать "разрезов" по направлению l .

Если по этому направлению ни одного разреза выдавать на печать не надо, то $lW = 1$ и $lP(1) = 0$. В противном случае $lP(1) = l_1$, $lP(2) = l_2$ и т.д. $lP(lW) = l_{lW}$, где $l_1 < l_2 < \dots < l_{lW}$, $lW \leq 100$.

4. ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЕТА

4.1. Вызов и загрузка программы в ЭВМ

Каждая из модификаций программы *PROGNOZ* состоит из нескольких модулей, объединенных главной программой *MAIN*. Подпрограммы-модули *GRUND*, *WNS*, *HF*, *FIND* содержатся в личной библиотеке исходных модулей (или библиотеке загрузочных модулей).

Ниже приводится пример пакета вызова программы *PROGNOZ-3S* из библиотеки исходных модулей. Задание требует не менее 300 килобайт памяти и использует оптимизирующий транслятор (ФОРТРАП-ОН) системы ОС ЕС.

Здесь:

имя - биб - имя личной библиотеки исходных модулей,
имя - тома - имя тома, на котором размещена библиотека.

```
// JOB
// EXEC FORTHCLG
// FORT SYSIN DD DDNAME=PKAR
// DD DSN=<ИМЯ-БИБ>(GRUND),DISP=SHR,
// VOL=SER=<ИМЯ-ТОМА>,UNIT=SYSDA
// DD DSN=<ИМЯ-БИБ>(WNS),DISP=SHR,
// VOL=SER=<ИМЯ-ТОМА>,UNIT=SYSDA
// DD DSN=<ИМЯ-БИБ>(HF),DISP=SHR,
// VOL=SER=<ИМЯ-ТОМА>,UNIT=SYSDA
// DD DSN=<ИМЯ-БИБ>(FIND),DISP=SHR,
// VOL=SER=<ИМЯ-ТОМА>,UNIT=SYSDA
// PKAR DD *
<текст программы MAIN на перфокартах>
<текст подпрограммы BLOCK DATA на перфокартах>
// CO SYSIN DD *
<исходные данные>
/*
//
```

Текст подпрограмм для модификации *PROGNOZ-3S* приведен в обязательном приложении 3.

4.2. Составление программы *MAIN* и подпрограммы *BLOCK DATA*

Программа *MAIN* в модификациях *PROGNOZ-3S* и *PROGNOZ-2S* составляется для каждого варианта расчета. Пример программы *MAIN* для расчета контрольного примера (приложение I) приведен в обязательном приложении 3.

Программа **MAIN** содержит обращение к основной подпрограмме **GRUND** алгоритма. Перед обращением к подпрограмме **GRUND** в **MAIN** должны быть определены все формальные аргументы подпрограммы, приведенные в табл. 6.

Таблица 6

Идентификатор	Фактическое значение
1	2
<i>NSL</i>	Число выделенных литологических разностей ($NSL \leq 10$)
<i>NI</i>	Число элементов по направлению <i>i</i> , ($NI \leq 100$)
<i>NJ</i>	Число элементов по направлению <i>j</i> , ($NJ \leq 100$)
<i>NK</i>	Число элементов по направлению <i>K</i> , ($NK \leq 100$)
<i>NT</i>	Число изменений шага по времени ($NT \leq 10$)
<i>LI</i>	Число интервалов времени в периоде, во время которых задаются средние значения характеристик внешней среды на верхней границе ($LI \leq 36$)
<i>M</i>	Число зон с различными краевыми условиями на верхней границе ($M \leq 9$)
<i>M1</i>	Число зон с различными краевыми условиями на нижней границе ($M1 \leq 9$)
<i>TKON</i>	Время окончания счета (в часах)
<i>A1(NSL), B1(NSL)</i>	Одномерные массивы размерности <i>NSL</i>
<i>C1(NSL)</i>	Коэффициенты, задающие кривую незамерзшей воды по слоям $W_w = \frac{A1}{B1 - \beta} + C1$
<i>N(NI, NJ, NK)</i>	Трехмерный массив размерностью $NI \times NJ \times NK$ Номера слоев грунта в соответствующих элементах (см. табл. 5)
<i>KL(NJ, NK)</i>	Двухмерный массив размерностью $NJ \times NK$ Массив номеров зон краевых условий по элементам верхней и нижней границ (см. табл. 3)
<i>U(NI, NJ, NK)</i>	Трехмерный массив размерностью $NI \times NJ \times NK$ Начальная температура грунта по элементам (см. табл. 1)

1	2
IW	Число выдаваемых на печать "разрезов" по направлению i (см. п.3.6)
JW	Число выдаваемых на печать "разрезов" по направлению j (см. п.3.6)
KW	Число выдаваемых на печать "разрезов" по направлению K (см. п.3.6)
INT	Размер массива <i>HPRI</i> (см. п.3.6)
HPRI (INT)	Одномерный массив размерности <i>INT</i> Задаст интервалы выдачи на печать температуры грунта (час) (см. п.3.6)
N(NI,NJ,NK)	Трёхмерный массив размерностью $NI \times NJ \times NK$ Значение энтальпии по элементам на текущем временном слое
UN(NI,NJ,NK)	Трёхмерный массив размерностью $NI \times NJ \times NK$ Температура грунта по элементам на следующем временном слое
HNOV(NI,NJ,NK)	Трёхмерный массив размерностью $NI \times NJ \times NK$ Значение энтальпии по элементам на следующем временном слое
NSI	$NSI = I$, если единица измерения количества теплоты - кДж $NSI \neq I$, если единица измерения количества теплоты - ккал

Оператором *DIMENSION* определяется размерность массивов *N*, *UN*, *HNOV*, *U*, *A1*, *B1*, *C1*. Ввод массивов *N*, *KL*, *U*, *HPRI* осуществляется операторами описания типа (*INTEGER*, *REAL*), а также операторами присваивания.

Применение операторов описания типа для ввода указанных массивов, в подавляющем большинстве проводимых на практике расчетов, уменьшает количество информации, вводимой с перфокарт.

Обращение к подпрограмме *WNS (NSL, A1, B1, C1)* присутствует в том случае, если коэффициенты *A1*, *B1*, *C1*, определяющие кривую незамерзшей воды по грунтовым разностям,

неизвестны. В противном случае эти коэффициенты вводятся операторами присваивания или операторами описания типа.

Обращение к подпрограмме *GRUND* присутствует обязательно и имеет вид:

CALL GRUND (NSL, NI, NJ, NK, NT, LI, M, MI, TKON, A1, B1, C1, N, KL, U, IW, JW, KW, INT, HPRI, H, UN, HNOV, NSI).

Простые переменные *NSL, NI, NJ, NK, NT, LI, M, MI, TKON, IW, JW, KW, INT, NSI* при обращении к подпрограмме заменяются своими фактическими значениями (см. табл. 6).

Массивы *H, UN, HNOV* определяются только размерностью в операторе *DIMENSION*.

В подпрограмме *BLOCK DATA* (см. приложение 3) оператором *DATA* вводятся значения по слоям следующих физических и теплофизических характеристик грунта соответствующими идентификаторами:

BCK(10) – плотность сухого грунта, кг/м³;

CSK(10) – удельная теплоемкость сухого грунта, кДж/(кг·°C), ккал/(кг·°C);

WC(10) – суммарная влажность грунта в долях к весу абсолютно сухого грунта (доли);

UKR(10) – температура начала фазовых переходов.

Значения характеристик берутся из табл. 4.

Текст программы *MAIN* и подпрограммы *BLOCK DATA* записывается на стандартных бланках для записи текста на *FORTRANe* с последующей набивкой на перфокарты.

4.3. Подготовка к вводу группы данных с перфокарт

Начальные данные, вводимые с перфокарт, описаны в порядке ввода в табл. 7 и 8.

По табл. 7 вводятся данные, необходимые для расчета коэффициентов кривой незамерзшей воды подпрограммой *WWS*, для каждой выделенной грунтовой разности. Если в программе *MAIN* обращения к подпрограмме *WWS* нет, то числовые данные для ввода готовятся только по табл. 8.

Таблица 7

Порядковый номер описателя внода	Идентификатор	Формат	Единица измерения	Значение
1	T(3, NSL)	12F6.2	$^{\circ}\text{C}$	По три значения температуры, для которых известно количество незамерзшей воды, для каждой грунтовой разности в порядке их нумерации (см. табл. 4)
2	W(3, NSL)	12F6.2	доли ед.	Соответствующее указанным выше температурам количество незамерзшей воды

Таблица 8

Порядковый номер описателя внода	Идентификатор	Формат	Единица измерения	Значение
1	2	3	4	5
3	TLM(NSL)	13F6.2	$\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}),$ $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$	Одномерный массив размерностью NSL. Теплопроводность мерзлого грунта по слоям в порядке их нумерации (см. табл. 4)
	TLT(NSL)		$\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})_{\Delta},$ $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$	Одномерный массив размерностью NSL. Теплопроводность талого грунта по слоям в порядке их нумерации (см. табл. 4)
	NI(NI)		м	Одномерный массив размерностью NI. Размер элементов по направлению

1	2	3	4	5
	<i>NJ (NJ)</i>		м	Одномерный массив размерностью <i>NJ</i> . Размер элементов по направлению <i>J</i>
	<i>NK (NK)</i>		м	Одномерный массив размерностью <i>NK</i> . Размер элементов по направлению <i>K</i>
	<i>SNT (NT)</i>		ч	Одномерный массив размерностью <i>NT</i> . Размер шага по времени (см. п.3.6)
4	<i>TR (NT)</i>	6FI2.2	ч	Одномерный массив размерностью <i>NT</i> . Граница (время) изменения шага по времени (см. п.3.6)
5	<i>TB (LI, M)</i>	I2F6.2	°C	Двухмерный массив размерностью <i>LI x M</i> . Температура внешней среды на верхней границе области исследования при периодическом ее изменении по времени и зонам краевых условий в порядке их нумерации (см. табл.2)
	<i>RB (LI, M)</i>		$\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}/\text{ккал}$	Двухмерный массив размерностью <i>LI x M</i> . Термическое сопротивление поверхности на верхней границе при периодическом изменении по времени и зонам краевых условий в порядке их нумерации (см. табл. 2)
	<i>AB (LI, M)</i>		$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	Двухмерный массив размерностью <i>LI x M</i> . Коэффициент конвективного теплообмена

1	2	3	4	5
6	<i>ТВК(М1)</i>		$^{\circ}\text{C}$	на верхней границе при периодическом изменении по времени и зонам краевых условий в порядке их нумерации (см. табл. 2)
	<i>ТВУ</i>		$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}),$ $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Одномерный массив размерностью М1. Температура внешней среды по зонам нижней границы в порядке их нумерации
	<i>ТВУК</i>		$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}),$ $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Простая переменная. Теплоток на левой боковой границе области исследования
	<i>ТВК</i>		$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}),$ $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Простая переменная. Теплоток на правой боковой границе
	<i>ТВКК</i>		$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}),$ $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Простая переменная. Теплоток на ближней боковой границе
				Простая переменная. Теплоток на дальней боковой границе
	<i>МР(М)</i>	27ГЗ	δ/ρ	Одномерный массив размерностью М. Род краевых условий по зонам верхней границы в порядке их нумерации (см. табл. 2)
	<i>МК(5)</i>		δ/ρ	Одномерный массив размерностью 5. Род краевых условий соответственно по нижней, ближней, дальней, левой и правой границах

1	2	3	4	5
	$JP(JW)$		б/р	Одномерный массив размерностью JW . Номера элементов по направлению J задающие "разрезы", для которых выводится на печать распределение температур (см. п.3.6). Если печать не нужна, то $JP(I)=0$
	$KP(KW)$		б/р	Одномерный массив размерностью KW . Номера элементов по направлению K , задающие "разрезы", для которых выводится на печать распределение температур. Если печать не нужна, то $KP(I)=0$ (см. п.3.6)
	$IP(IW)$		б/р	Одномерный массив размерностью IW . Номера элементов по направлению I , задающие "разрезы", для которых выводится на печать распределение температур. Если печать не нужна, то $IP(I)=0$ (см. п.3.6)

Все переменные, соответствующие одному порядковому номеру оператора ввода, вводятся по единому формату.

4.4. Выходные данные

При работе программы за каждый шаг расчета по времени обновляется трехмерный массив температур $UN(i, j, K)$, содержащий значения температур в центрах элементов исследуемого массива грунта. На заданный в исходных данных (п.3.6) момент времени может быть выведено на печать двухмерное температурное поле, представляющее собой разрез массива U , определенный исходными параметрами (см. п.3.6). Если в некотором элемен-

те происходят фазовые переходы, то есть температура грунта равна температуре начала фазовых переходов (T^*), то для этого элемента печатается число, показывающее, какая его часть находится в талом состоянии, по формату: 7XX.XX, где 7 – условная цифра, а УХ.XX – процентное содержание талого грунта в элементе.

Кроме того, на печать выводятся номер элемента, через который проведен разрез, расстояние от его центра до начала координат и время на моменты печати. Для идентификации точек температурного поля двумерная матрица окаймляется номерами элементов и значениями расстояния от их центров до начала координат.

Пример печати выходных данных приведен на рис. 5.

4.5. Подготовка данных для расчета по программе *PROGNOZ-2S*

Исходные данные готовятся согласно пп. 4.2-4.3 настоящего раздела, но следующие переменные имеют постоянные значения:

$$NK = 1$$

$$IW = 1$$

$$jW = 1$$

$$KW = 1$$

$$NK(t) = 1$$

Ввод массивов JP , KP , iP отсутствует.

4.6. Подготовка данных для расчета по программе *PROGNOZ-3N*

Вся исходная информация вводится с перфокарт. Данные готовятся согласно табл. 9. Все переменные, соответствующие одному порядковому номеру оператора ввода, вводятся по единому формату. Максимальное число расчетных элементов 3000, то есть $(Ni \times Nj \times NK \leq 3000)$

Номер элемента по К		Положение центра элемента (блока)		Время на момент печати		Номер элемента по J		Положение центра элемента	
БЛОКИ ПО I		ВРЕМЯ		ОПЕРИОНАА		ИНТЕРВАЛА		ЗНАЧЕНИЯ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.50	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80
2	1.50	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23
3	2.50	754.48	754.48	754.48	754.48	754.48	754.48	754.48	754.48
4	3.50	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
5	4.50	764.90	764.90	764.90	764.90	764.90	764.90	764.90	764.90
6	5.50	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
7	6.50	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
8	7.50	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
9	8.50	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
10	9.50	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
11	10.50	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
12	11.50	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
13	12.50	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
14	13.50	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
15	14.50	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23

Положение центра элемента

Номер элемента (блока) по I

U(5,4,I) в элементе происходит фазовый переход

Значение температуры U(9,8,I)

Рис. 4. Пример печати выходных данных

Таблица 9

Порядковый номер опе- ратора ввода	Формат	Иденти- фикатор	Единица измерения	З н а ч е н и е
1	2	3	4	5
1	3/5	<i>N_L</i>	б/р	Число элементов по направлению <i>l</i>
		<i>N_J</i>	б/р	Число элементов по направлению <i>J</i>
		<i>N_K</i>	б/р	Число элементов по направлению <i>K</i>
2	16/5	<i>N_{SL}</i>	б/р	Число выделенных литологических разностей ($N_{SL} \leq 10$)
		<i>N_T</i>	б/р	Число изменений шага по времени ($N_T \leq 10$)
		<i>L_t</i>	б/р	Число интервалов времени в перио- де, во время ко- торых задаются средние значения характеристик внешней среды на верхней границе ($L_t \leq 36$)
		<i>M</i>	б/р	Число зон с раз- личными крайними условиями на верхней границе ($M \leq 9$)
		<i>M₁</i>	б/р	Число зон с раз- личными крайни- ми условиями на нижней границе ($M_1 \leq 9$)
		<i>L_W</i>	б/р	Число выдавае- мых на печать "разрезов" по на- правлению <i>l</i> (см. п.3.6)

I	2	3	4	5
		JW	б/р	Число выдаваемых на печать "разрезов" по направлению J (см. п. 3.6)
		KW	б/р	Число выдаваемых на печать разрезов по направлению K (см. п. 3.6)
		LNT	б/р	Размер массива (см. п. 3.6)
		NSI	б/р	=1, если количество теплоты измеряется в кДж ≠1, если количество теплоты измеряется в ккал
		NCR	б/р	Число элементов, задающих "ступеньку" на верхней границе области исследования. Примечание: Присутствует только в алгоритме PROGNOS-L
3	I2F6.2	$T(3, NSL)$	°C	По три значения температуры, для которых задается количество незамерзшей воды, для каждой грунтовой разности в порядке их нумерации (см. табл. 4)
4	I2F6.2	$W(3, NSL)$	доли ед.	Соответствующее указанным выше температурам количество незамерзшей воды
5	I3F6.2	$NI(NI)$	м	Одномерный массив размерностью NI Размер элементов по направлению I
6	I3F6.2	$NJ(NJ)$	м	Одномерный массив размерностью NJ Размер элементов по направлению J

1	2	3	4	5
7	I3F6.2	$nk(Nk)$	м	Одномерный массив размерностью Nk . Размер элементов по направлению K
8	I3F6.2	$U(Ni, Nj, Nk)$	$^{\circ}C$	Трёхмерный массив размерностью $Ni \times Nj \times Nk$. Начальная температура грунта по элементам (см. табл. 1) Каждый столбец таблицы называть по новой перфокарте
9	I6I5	$n(Ni, Nj, Nk)$	б/р	Трёхмерный массив грунта размерностью $Ni \times Nj \times Nk$. Номера слоев грунта в соответствующих элементах (см. табл. 5). Каждый столбец таблицы называть на новой перфокарте
10	I2F6.2	$tb(Li, M)$	$^{\circ}C$	Двухмерный массив размерностью $Li \times M$. Температура внешней среды на верхней границе области исследования при периодическом ее изменении по времени и зонам краевых условий в порядке их нумерации (см. табл. 2)
		$RB(Li, M)$	$m^2 \cdot ^{\circ}C/Вт,$ $m^2 \cdot ^{\circ}C/ккал$	Двухмерный массив размерностью $Li \times M$. Термическое сопротивление поверхности на верхней границе при периодическом изменении по времени и зонам краевых условий в порядке их нумерации (см. табл. 2)

I	2	3	4	5
		$AB(LI, M)$	$Вт/(м^2 \cdot ^\circ C),$ $ккал/(м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C)$	Двухмерный массив размерностью $LI \times M$. Коэффициент конвективного теплообмена на верхней границе при периодическом изменении по времени и зонам краевых условий в порядке их нумерации (см. табл 2)
II	16 I 5	$KL(NI, NK)$	б/р	Двухмерный массив размерностью $NI \times NK$. Массив номеров зон краевых условий по элементам верхней и нижней границ (см. табл 3) Примечание В алгоритме PROGNOZ-L в массиве KL номер зоны краевых условий по элементам верхней границы задается равным I
IIa	6 I 5	$S(NGR, 6)$	б/р	Двухмерный массив размерностью $NGR, 6$ задает номер зоны краевых условий на верхней границе по граням граничных элементов образующих "ступеньку" (см. п 4 8) Примечание Массив S присутствует только в алгоритме PROGNOZ-L
I2	F6.I, 5 F6 2	$G(NSL, 6)$		Значения теплофизических характеристик грунта по выделенным слоям. Двухмерный массив размерностью $NSL \times 6$ (см. табл 4)
		$G(i, 1)$	кг/м ³	Плотность сухого грунта i -го слоя

1	2	3	4	5
		$C(l, 2)$	$\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$	Удельная теплоемкость сухого грунта l -го слоя
		$C(l, 3)$	доли	Суммарная влажность грунта l -го слоя в долях к весу абсолютно сухого грунта
		$C(l, 4)$	$\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	Теплопроводность мерзлого грунта l -го слоя
		$C(l, 5)$	$\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	Теплопроводность талого грунта l -го слоя
		$C(l, 6)$	$^\circ\text{C}$	Температура начала фазовых переходов l -го слоя
13	6 F12.2	$SNT(l)$	ч	Размер шага по времени с границей времени его изменения $1 \leq l \leq NT$
		$TA(l)$	ч	
		$TKON$	ч	
14	6 F12.2	$NPRL(LNT)$	ч	Одномерный массив размерностью $LNT \leq 50$. задает интервалы выдачи на печать температуры грунта (час) (см. п. 3.6)
15	I3 F6 2	$TBIK(M1)$	$^\circ\text{C}$	Одномерный массив размерностью $M1$. Температура внешней среды по зонам нижней границы в порядке их нумерации
		TBJ	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Простая переменная. Величина теплопотока на левой боковой границе области исследования
		$TBJK$	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Простая переменная. Величина теплопотока на правой боковой границе
		TBK	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Простая переменная. Величина теплопотока на ближней боковой границе

I	2	3	4	5
		<i>ТВКК</i>	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}),$ $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	Простая переменная. Величина теплопотока на дальней боковой границе
16	16 I 5	<i>MR (M)</i>	б/р	Одномерный массив размерностью 4. Род краевых условий по зонам верхней границы в порядке их нумерации (см. табл. 2)
17	16 I 5	<i>МК 5</i>	б/р	Одномерный массив размерностью 5. Род краевых условий соответственно на нижней, ближней, дальней, лево ^а и право ^а границах
18	16 I 5	<i>JP (jW)</i>	з/р	Одномерный массив размерностью <i>jW</i> . Номера элементов по направлению <i>j</i> , задающие "разрезы", для которых выводится на печать температурное поле (см. п. 3.6). Если печать не нужна, то $JP(i)=0$
19	16 I 5	<i>KP (KW)</i>	б/р	Одномерный массив размерностью <i>KW</i> . Номера элементов по направлению <i>K</i> , задающие "разрезы", для которых выводится на печать температурное поле. Если печать не нужна, то $KP(i)=0$ (см. п. 3.6)
20	16 I 5	<i>LP (lW)</i>	б/р	Одномерный массив размерностью <i>lW</i> . Номера элементов по направлению <i>l</i> , задающие "разрезы", для которых выводится на печать температурное поле. Если печать не нужна, то $LP(i)=0$ (см. п. 3.6)

4.7. Подготовка данных для расчета по программе

PROGNOZ - 2N

исходные данные готовятся по табл. 9. Следующие переменные имеют постоянные значения

$$NK = 1$$

$$IW = 1$$

$$JW = 1$$

$$KW = 1$$

$$HK(1) = 1$$

$$TBK = 0$$

$$TBKK = 0$$

Операторы ввода с порядковыми номерами 18, 19, 20 отсутствуют. Максимальное число расчетных элементов 3000, т.е. $(N/J \times NK \leq 3000)$

4.8. Подготовка данных для расчета по программе

PROGNOZ - L

Данные готовятся согласно п. 4.7 настоящего раздела. Значение начальной температуры в фиктивных элементах (элементах, дополняющих область исследования до прямоугольной) задаются равными условному числу 99.99.

Краевые условия на верхней ступенчатой границе определяются номером зоны краевых условий на левой, верхней и правой гранях граничных элементов, формирующих верхнюю границу области исследования, и задаются массивом J размерностью $(NCR \times 6)$, где NCR - число граничных элементов (рис. 6).

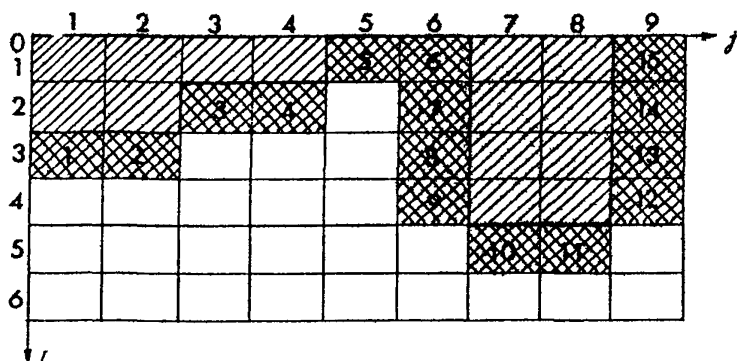


Рис. 6. Пример задания ступенчатой области решения



- активные элементы



- граничные элементы, 4 - порядковый номер элемента

 $S(d, 1)$ - порядковый номер элемента, $S(d, 1) = d$, $S(d, 2)$ - координата элемента по направлению i $1 \leq S(d, 2) \leq Ni$, $S(d, 3)$ - координата элемента по направлению j $1 \leq S(d, 3) \leq Nj$, $S(d, 4)$ - номер зоны краевых условий на левой грани элемента, $0 \leq S(d, 4) \leq 9$ $S(d, 4) = 0$, если эта грань не является поверхностью теплообмена с внешней средой, $S(d, 5)$ - номер зоны краевых условий на верхней грани элемента, $0 \leq S(d, 5) \leq 9$ $S(d, 5) = 0$, если эта грань не является поверхностью теплообмена с внешней средой, $S(d, 6)$ - номер зоны краевых условий на правой грани элемента, $0 \leq S(d, 6) \leq 9$ $S(d, 6) = 0$, если эта грань не является поверхностью теплообмена с внешней средой.

По предлагаемому алгоритму не могут рассматриваться случаи, когда нижняя грань элементов, формирующих верхнюю границу области исследования, является поверхностью теплообмена с внешней средой.

Ввод двумерного массива S осуществляется по строкам оператором ввода II-а (см. табл.9).

Например, на верхней границе ступенчатой области (см рис. 6) выделено 3 зоны с различными условиями теплообмена

I зона – верхние грани I, 2, 3, 4, IO, II элементов,

II зона – верхние грани 5, 6, I5 элементов,

III зона – левые грани 3, 5, I2, I3, I4, I5 и правые грани 6, 7, 8, 9 элементов.

Тогда массив δ имеет вид

$s(d,1)$	$s(d,2)$	$s(d,3)$	$s(d,4)$	$s(d,5)$	$s(d,6)$
I	3	I	0	I	0
2	3	2	0	I	0
3	2	3	3	I	0
4	2	4	0	I	0
5	I	5	3	2	0
6	I	6	0	2	3
7	2	6	0	0	3
8	3	6	0	0	3
9	4	6	0	0	3
IO	5	7	0	I	0
II	5	8	0	I	0
I2	4	9	3	0	0
I3	3	9	3	0	0
I4	2	9	3	0	0
I5	I	9	3	2	0

Пример расчета

Требуется определить температурный режим, сформировавшийся в грунте в контуре отапливаемого производственного здания размером 20х12 м без проветриваемого подполья через 10 лет после начала его эксплуатации.

В процессе эксплуатации здания с одной из его сторон на части прилегающей территории в зимнее время будут образовываться снежные надувы (увеличение максимальной мощности снега на 0,4 м по сравнению с естественным).

Рассматривался режим теплообмена на прилегающей территории, наименее благоприятный для эксплуатации здания. Предполагалось, что снежные надувы образовывались симметрично со всех сторон здания. В результате определялся температурный режим под 1/4 частью здания (угол 6х10 метров), образованной осями его симметрии.

Область исследования представляет собой прямоугольный массив грунта, ограниченный глубиной 17 м и прямоугольной областью 21х15 м на верхней и нижней границах.

Размер элементов в метрах по направлению осей выбран для расчета следующий:

по оси Z : 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3;

по оси x : 3, 3, 2, 2, 2, 3, 3, 3;

по оси y : 3, 3, 3, 2, 2, 2.

Всего расчетных элементов: $7 \times 8 \times 6 = 336$.

Шаг по времени 121,67 часа.

На верхней границе выделено три зоны с различными краевыми условиями. На нижней границе, на глубине 17 м температура принята постоянной, равной $-1,4^{\circ}\text{C}$. На боковых границах — условие теплоизоляции, теплоток равный 0.

Расположение зон краевых условий на верхней границе приведено на рис. I настоящего приложения.

Условия теплообмена по месяцам и по зонам верхней границы приведены в табл. 1 приложения.

Начальное распределение температуры для всей области исследования меняется только по глубине.

Глубина, м	1	3	5	7	9,5	12,5	15,5
$^{\circ}\text{C}$	-0,1	-0,4	-1,0	-1,2	-1,4	-1,4	-1,4

Начальные условия приведены на январь месяц.

На рис. 2 приложения изображен схематический разрез грунта, в котором выделены три различные грунтовые разности, физические и теплофизические свойства которых приведены в табл. 2. Каждая грунтовая разность по всем трем направлениям содержит целое число элементов.

Распределение температур требуется выдавать на печать на каждый год от начала эксплуатации по разрезам: АА', ВВ', СС', ДД', ЕЕ', FF', КК' (см. рис. 1).

Для поставленной задачи прогноза текст программы MAIN и BLOCK DATA для расчета по программе PROGNOS-3S, числовая информация на бланках, заполняемая по табл. 7 и 8 раздела 4, даны соответственно в обязательном приложении 3 и в настоящем.

Пример обработки полученных результатов расчета приведен на рис. 3 (вклейка).

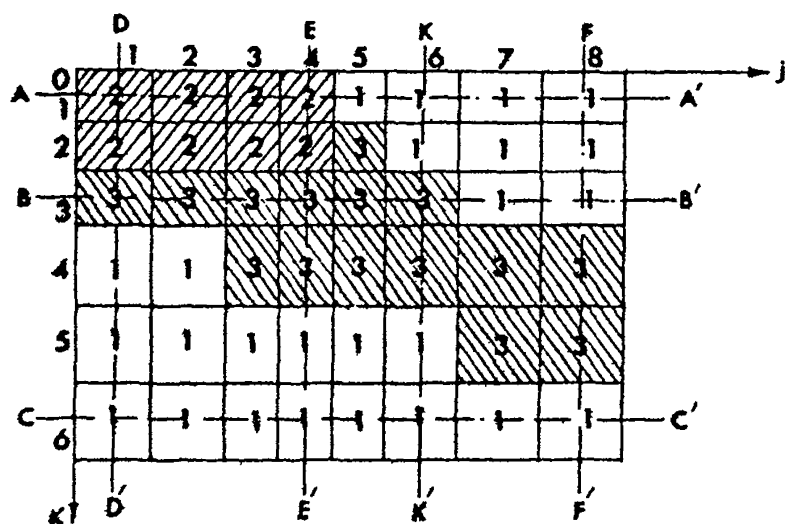


Рис. 1. Разбивка верхней границы области исследования на элементы z зоны кубовых условий

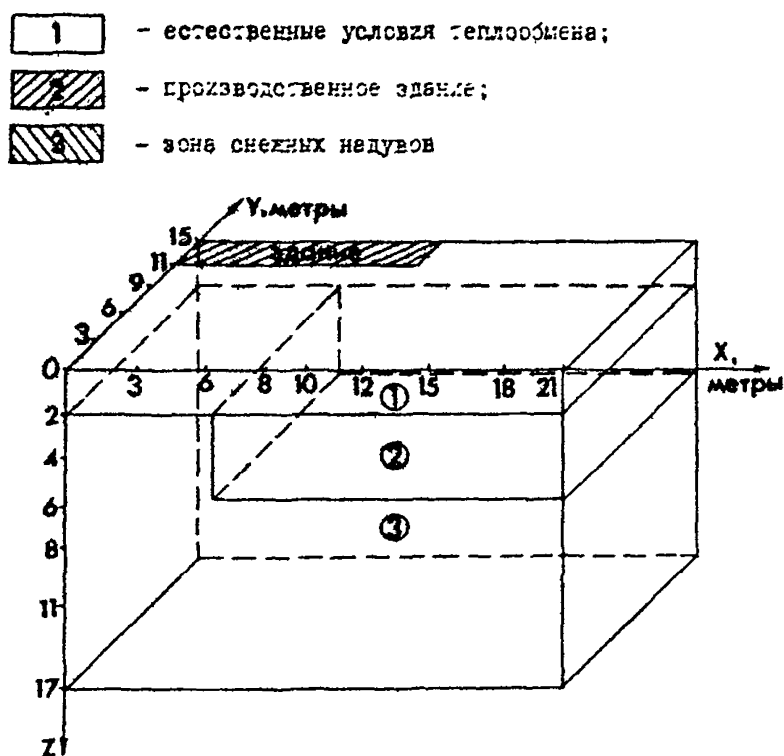


Рис. 2. Разрез грунта с выделенными литологическими разностями

Таблица I

Номер зоны	Род краевых условий	Месяц Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I	III	Температура $t_n = t + \Delta t$ ($^{\circ}\text{C}$)	-24.6	-23.2	-19.2	-9.5	3.7	13.1	18.0	12.4	4.6	-4.6	-16.4	-22.4
		Термическое сопротивление R , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{ккал}$	2.6	2.7	2.8	3.0	1.7	-	-	-	-	1.3	2.1	2.3
		Коэффициент теплообмена α , $\text{ккал} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$	13.8	12.3	12.3	12.0	12.1	12.6	13.4	14.0	14.3	13.4	13.5	12.7
2	III	Температура t ($^{\circ}\text{C}$)	$t = 20^{\circ}\text{C} = \text{const}$											
		Термическое сопротивление R , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{ккал}$	$R = 1.8 = \text{const}$											
		Коэффициент теплообмена α , $\text{ккал} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$	$\alpha = 20.0 = \text{const}$											
3	III	Температура $t_n = t + \Delta t$ ($^{\circ}\text{C}$)	-24.6	-23.6	-19.2	-9.5	3.7	13.1	18.0	12.4	4.6	-4.6	-16.4	-22.4
		Термическое сопротивление R , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{ккал}$	4.4	4.4	4.7	5.0	2.8	-	-	-	-	2.1	3.5	3.9
		Коэффициент теплообмена α , $\text{ккал} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$	13.8	12.3	12.3	12.0	12.1	12.6	13.4	14.0	14.3	13.4	13.5	12.7

Таблица 2

Номер слоя	Характеристика Описание грунта	$\rho_d,$ кг/м ³	$C_d,$ ккал/(м ³ °C)	$W_{tot},$ доли	$\lambda_m,$ ккал/(м ³ °C)	$\lambda_t,$ ккал/(м ³ °C)	W_w доли
1	Суглинок бурокоричневый, ожезненный, с включе- нием гравия и гальки	1390	0.22	0.25	1.3	1.15	$W_w(-0.3)=0.14$ $W_w(-1.0)=0.12$ $W_w(-10.0)=0.03$
2	Супесь буровато-коричне- вая, сильно ожезненная с прослоями суглинка и песка	1520	0.24	0.22	1.55	1.45	$W_w(-0.3)=0.12$ $W_w(-1.0)=0.08$ $W_w(-10.0)=0.05$
3	Песок пылеватый, желтоко- ричневый, буро-серый, ожезненный, оторфован	1500	0.23	0.27	2.35	2.15	$W_w(0)=0.0$

Исходные данные для расчета контрольного примера
приложения I по программе PROGNOZ-33

Металл														Номер карты
1	7	12	15	22	25	28	33	38	43	48	53	58	63	73
Данные для расчета коэффициентов кривой неламерзшей воды по подпрограмме W.M.3 (см. табл. 7)														
-0.3	-1.0	-10.0	-0.3	-1.0	-10.0	0.0	0.0	0.0						
0.14	0.12	0.08	0.12	0.08	0.05	0.0	0.0	0.0						
Данные для ввода, подготовленные по табл. 8														
1.30	1.55	2.35	1.15	1.45	2.15	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0		
3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0		
2.0	121.67													
876	000.0													

перфорирован

пластина

перфорацию

РЧ 67-27 0.51

МЕТРА															НОМЕР СЛПТ		
1	3	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
-24.6	-23.2	-19.2	-9.5	3.7	13.1	18.0	12.4	4.6	-4.6	-16.4	-23.4	} TB					
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0						
-24.6	-23.2	-19.2	-9.5	3.7	13.1	18.0	12.4	4.6	-4.6	-16.4	-22.4	} RB					
2.6	2.7	2.8	3.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.1	2.5						
1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	} AB					
4.4	4.4	4.7	5.0	2.82	0.0	0.0	0.0	0.0	2.14	3.57	3.89						
13.8	12.3	12.3	12.0	12.1	12.6	13.4	14.0	14.3	13.4	13.5	12.7	}					
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0						
13.8	12.3	12.3	12.0	12.1	12.6	13.4	14.0	14.3	13.4	13.5	12.7						

ПЕРФОРМОВА

ПРОБНА
РЕФОРМА

[illegible]

**ЯЗОВЕРИЯ
АЕДФОРЦИЮ**

Выдача на печать для контроля ввода начальных данных,
подготовленных для расчета по программе *PROGNOZ-3S*
контрольного примера приложения I

[illegible]

Приложение 2
Рекомендуемое

Пример текста подпрограммы *ISTO*

```

C      ПОДПРОГРАММА      ISTO
C      ОПРЕДЕЛЯЕТ КОЛИЧЕСТВО ВЫДЕЛЕННОГО ИЛИ ПОГЛОЩЕННОГО ИСТОЧНИКОМ
C      ТЕПЛОТЫ F В ККАЛ (ИЛИ КАЖ) В ЕДИНИЦУ ВРЕМЕНИ (ЧАС) В
C      ФУКСИРОВАННОМ ЭЛЕМЕНТЕ С КООРДИНАТАМИ (I,J,K)
C      T-ТЕКУЩЕЕ ВРЕМЯ ОТ НАЧАЛА РАСЧЕТА
SUBROUTINE ISTO(I,J,K,T,F)
IF((T.GT.152.0).AND.(T.LT.154.0))GO TO 10
GO TO 11
10 IF (((K.EQ.3).AND.((J.EQ.3).OR.(J.EQ.5)))OR((J.EQ.4).AND.
N(K,EQ.5))),AND.(I.LE.7)) GO TO 12
GO TO 11
12 IF (I.LE.6) F=166666.6
IF (I.EQ.7) F=250000.0
11 CONTINUE
RETURN
BAD

```

Текст программы *PROGNOZ-33* с результатами
расчета контрольного примера приложения I

Раздел *MAIN 33* содержит подпрограммы *MAIN* и *BLOCK DATA*,
составленные для решения контрольного примера приложения I.

Вызов программы на счет из библиотеки исходных модулей
имеет вид:

```
//      JOB
// CLASS=0,MSGLEVEL=1,TIME=15
// EXEC FORTNCLG,PARM,PURTY('OPT=02'),
//      REGION,PORT=383K,REGION,LKED=100K,REGION,CCCH00K
// FORT,SY$IN DD DSN=8{BL4,3{MAIN33},
// VOL=SER=DTN033,D{3P=3NR,UNIT=3061
//      DD DSN=8{BL4,3{GRUN33},
// VOL=SER=DTN033,D{3P=3NR,UNIT=3061
//      DD DSN=8{BL4,3{MNS},
// VOL=SER=DTN033,D{3P=3NR,UNIT=3061
//      DD DSN=8{BL4,3{FIND},
// VOL=SER=DTN033,D{3P=3NR,UNIT=3061
//      DD DSN=8{BL5,3{MF},
// VOL=SER=DTN033,D{3P=3NR,UNIT=3061
```

Здесь: *VIBL4S* - имя библиотеки исходных модулей
DTN03 - имя тома.

Результаты расчета контрольного примера представлены
на I-й и 5-й расчетный год.

8/1015

DS 14119L4,5

*** MAIN35 ***

```

1 DIMENSION H(7,3,6),UH(7,3,6),H177(7,3,6),J(7,3,6),
2 HAI(3),31(3),C1(3)
3 T17LG=1 H(7,3,6)/336*3/.KL(9,6)/14*111,2*131,2*111,12*131,2*11
4 H4*121,131,3*111,4*121,4*111/
5 REAL H*31(21)/=1.0,8760.0/
6 CALL H*5(3,A1,31,C1)
7 TKU,=17631,0
8 UC 1 K=1,5
9 UC 1 J=1,3
10 1 V(1,J,K)=1
11 UC 2 K=1,5
12 UC 2 J=1,3
13 UC 2 I=2,5
14 2 V(1,J,K)=2
15 UC 3 K=1,5
16 UC 3 J=1,3
17 UC(1,J,K)=-0.1
18 UC(2,J,K)=-0.4
19 UC(3,J,K)=-1.2
20 UC(4,J,K)=-1.2
21 UC(5,J,K)=-1.4
22 UC(6,J,K)=-1.4
23 3 UC(7,J,K)=-1.4
24 CALL S1UHU(1,7,3,6,1,12,3,1,TKU,A1,31,C1,H,KL,U,1,4,3,2,1201
25 H4,UH,H177,J)
26 STOP
27 END

```

C
C
C
C
C

```

28 BLOCK DATA
29 CC1MOV /R/15/3CK(10),CCK(10),WC(10),UKR(10)
30 DATA BCK/13*0,0,1520.0,1500.0,7*0,0/,CCK/1,22,0,24,0,23,7*0/,
31 WE/U,23,0,22,0,27,7*0,0/,UKR/1)*0,0/
32 END

```

2 1 2 1 6

*** G R U Y S ***

```

1 SUBROUTINE GR140(ASL,I1,I2,I3,I4,I5,I6,I7,I8,I9,I10,I11,I12,I13,I14,I15,I16,I17,I18,I19,I20,I21,I22,I23,I24,I25,I26,I27,I28,I29,I30,I31,I32,I33,I34,I35,I36,I37,I38,I39,I40,I41,I42,I43,I44,I45,I46,I47,I48,I49,I50,I51,I52,I53,I54,I55,I56,I57,I58,I59,I60,I61,I62,I63,I64,I65,I66,I67,I68,I69,I70,I71,I72,I73,I74,I75,I76,I77,I78,I79,I80,I81,I82,I83,I84,I85,I86,I87,I88,I89,I90,I91,I92,I93,I94,I95,I96,I97,I98,I99,I100,I101,I102,I103,I104,I105,I106,I107,I108,I109,I110,I111,I112,I113,I114,I115,I116,I117,I118,I119,I120,I121,I122,I123,I124,I125,I126,I127,I128,I129,I130,I131,I132,I133,I134,I135,I136,I137,I138,I139,I140,I141,I142,I143,I144,I145,I146,I147,I148,I149,I150,I151,I152,I153,I154,I155,I156,I157,I158,I159,I160,I161,I162,I163,I164,I165,I166,I167,I168,I169,I170,I171,I172,I173,I174,I175,I176,I177,I178,I179,I180,I181,I182,I183,I184,I185,I186,I187,I188,I189,I190,I191,I192,I193,I194,I195,I196,I197,I198,I199,I200,I201,I202,I203,I204,I205,I206,I207,I208,I209,I210,I211,I212,I213,I214,I215,I216,I217,I218,I219,I220,I221,I222,I223,I224,I225,I226,I227,I228,I229,I230,I231,I232,I233,I234,I235,I236,I237,I238,I239,I240,I241,I242,I243,I244,I245,I246,I247,I248,I249,I250,I251,I252,I253,I254,I255,I256,I257,I258,I259,I260,I261,I262,I263,I264,I265,I266,I267,I268,I269,I270,I271,I272,I273,I274,I275,I276,I277,I278,I279,I280,I281,I282,I283,I284,I285,I286,I287,I288,I289,I290,I291,I292,I293,I294,I295,I296,I297,I298,I299,I300,I301,I302,I303,I304,I305,I306,I307,I308,I309,I310,I311,I312,I313,I314,I315,I316,I317,I318,I319,I320,I321,I322,I323,I324,I325,I326,I327,I328,I329,I330,I331,I332,I333,I334,I335,I336,I337,I338,I339,I340,I341,I342,I343,I344,I345,I346,I347,I348,I349,I350,I351,I352,I353,I354,I355,I356,I357,I358,I359,I360,I361,I362,I363,I364,I365,I366,I367,I368,I369,I370,I371,I372,I373,I374,I375,I376,I377,I378,I379,I380,I381,I382,I383,I384,I385,I386,I387,I388,I389,I390,I391,I392,I393,I394,I395,I396,I397,I398,I399,I400,I401,I402,I403,I404,I405,I406,I407,I408,I409,I410,I411,I412,I413,I414,I415,I416,I417,I418,I419,I420,I421,I422,I423,I424,I425,I426,I427,I428,I429,I430,I431,I432,I433,I434,I435,I436,I437,I438,I439,I440,I441,I442,I443,I444,I445,I446,I447,I448,I449,I450,I451,I452,I453,I454,I455,I456,I457,I458,I459,I460,I461,I462,I463,I464,I465,I466,I467,I468,I469,I470,I471,I472,I473,I474,I475,I476,I477,I478,I479,I480,I481,I482,I483,I484,I485,I486,I487,I488,I489,I490,I491,I492,I493,I494,I495,I496,I497,I498,I499,I500,I501,I502,I503,I504,I505,I506,I507,I508,I509,I510,I511,I512,I513,I514,I515,I516,I517,I518,I519,I520,I521,I522,I523,I524,I525,I526,I527,I528,I529,I530,I531,I532,I533,I534,I535,I536,I537,I538,I539,I540,I541,I542,I543,I544,I545,I546,I547,I548,I549,I550,I551,I552,I553,I554,I555,I556,I557,I558,I559,I560,I561,I562,I563,I564,I565,I566,I567,I568,I569,I570,I571,I572,I573,I574,I575,I576,I577,I578,I579,I580,I581,I582,I583,I584,I585,I586,I587,I588,I589,I590,I591,I592,I593,I594,I595,I596,I597,I598,I599,I600,I601,I602,I603,I604,I605,I606,I607,I608,I609,I610,I611,I612,I613,I614,I615,I616,I617,I618,I619,I620,I621,I622,I623,I624,I625,I626,I627,I628,I629,I630,I631,I632,I633,I634,I635,I636,I637,I638,I639,I640,I641,I642,I643,I644,I645,I646,I647,I648,I649,I650,I651,I652,I653,I654,I655,I656,I657,I658,I659,I660,I661,I662,I663,I664,I665,I666,I667,I668,I669,I670,I671,I672,I673,I674,I675,I676,I677,I678,I679,I680,I681,I682,I683,I684,I685,I686,I687,I688,I689,I690,I691,I692,I693,I694,I695,I696,I697,I698,I699,I700,I701,I702,I703,I704,I705,I706,I707,I708,I709,I710,I711,I712,I713,I714,I715,I716,I717,I718,I719,I720,I721,I722,I723,I724,I725,I726,I727,I728,I729,I730,I731,I732,I733,I734,I735,I736,I737,I738,I739,I740,I741,I742,I743,I744,I745,I746,I747,I748,I749,I750,I751,I752,I753,I754,I755,I756,I757,I758,I759,I760,I761,I762,I763,I764,I765,I766,I767,I768,I769,I770,I771,I772,I773,I774,I775,I776,I777,I778,I779,I780,I781,I782,I783,I784,I785,I786,I787,I788,I789,I790,I791,I792,I793,I794,I795,I796,I797,I798,I799,I800,I801,I802,I803,I804,I805,I806,I807,I808,I809,I810,I811,I812,I813,I814,I815,I816,I817,I818,I819,I820,I821,I822,I823,I824,I825,I826,I827,I828,I829,I830,I831,I832,I833,I834,I835,I836,I837,I838,I839,I840,I841,I842,I843,I844,I845,I846,I847,I848,I849,I850,I851,I852,I853,I854,I855,I856,I857,I858,I859,I860,I861,I862,I863,I864,I865,I866,I867,I868,I869,I870,I871,I872,I873,I874,I875,I876,I877,I878,I879,I880,I881,I882,I883,I884,I885,I886,I887,I888,I889,I890,I891,I892,I893,I894,I895,I896,I897,I898,I899,I900,I901,I902,I903,I904,I905,I906,I907,I908,I909,I910,I911,I912,I913,I914,I915,I916,I917,I918,I919,I920,I921,I922,I923,I924,I925,I926,I927,I928,I929,I930,I931,I932,I933,I934,I935,I936,I937,I938,I939,I940,I941,I942,I943,I944,I945,I946,I947,I948,I949,I950,I951,I952,I953,I954,I955,I956,I957,I958,I959,I960,I961,I962,I963,I964,I965,I966,I967,I968,I969,I970,I971,I972,I973,I974,I975,I976,I977,I978,I979,I980,I981,I982,I983,I984,I985,I986,I987,I988,I989,I990,I991,I992,I993,I994,I995,I996,I997,I998,I999,I1000,I1001,I1002,I1003,I1004,I1005,I1006,I1007,I1008,I1009,I1010,I1011,I1012,I1013,I1014,I1015,I1016,I1017,I1018,I1019,I1020,I1021,I1022,I1023,I1024,I1025,I1026,I1027,I1028,I1029,I1030,I1031,I1032,I1033,I1034,I1035,I1036,I1037,I103
```

571 116

- 2 -

75, 121, 14, 3

*** CRUYS ***

[illegible]

C.50 PCH 67-87

571116

- 3 -

25:418L4,S

*** GRUITS ***

```

127 37 FLU'AT (2),13IL - TOVE HA H'K(IE1)
128 40 FLU'AT (1),21X,18HHA 4EPXHE1 PDPH1LE)
129 41 FLU'AT (2),19110VER 30H1 / 110C3H,14,1417)
130 43 FLU'AT (2),16,4(,5HTE'00 903,1,15F7,2)
131 46 FLU'AT (1),9100FCT,18H,15F7,2)
132 47 FLU'AT (1),9100FCT,18H,15F7,2)
133 49 FLU'AT (2),24110PAC,1,1TE'00CTB 11ECCH1A,F9,2,51 4AC1)
134 49 FLU'AT (2),24110PAC,1,1TE'00CTB 11ECCH1A,F9,2,51 4AC1)
135 121 FLU'AT (1),1,1,25HTE'00PATX7A 11A 110C3H,14,1417)
136 122 FLU'AT (5),1,1,100VER 30H1,14,1517)
137 121 FLU'AT (5),1,1,100VER 30H1,14,1517)
138 124 FLU'AT (1),1,1,11A 110C3H,14,1517)
139 125 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
140 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
141 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
142 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
143 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
144 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
145 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
146 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
147 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
148 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
149 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
150 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
151 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
152 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
153 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
154 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
155 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
156 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
157 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
158 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
159 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
160 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
161 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
162 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
163 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
164 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
165 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
166 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
167 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
168 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
169 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
170 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
171 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
172 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
173 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
174 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
175 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
176 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
177 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
178 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
179 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
180 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
181 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
182 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
183 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
184 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
185 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
186 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
187 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
188 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
189 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
190 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
191 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
192 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
193 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
194 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
195 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
196 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
197 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
198 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
199 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)
200 127 FLU'AT (2),1,1,11A 110C3H,14,1517)

```

151=418L4,5

*** GRU433 ***

```

121 152 PRINT 15, (I, (XL(J, I), J=L, LK))
122 PRINT 16
123 PRINT 17
124 PRINT 18
125 PRINT 19
126 PRINT 20
127 DO 154 K=1, N
128 PRINT 21, K, I=1, LI)
129 PRINT 22, K, (T(I, K), I=1, LI)
130 PRINT 23, K, (Q(I, K), I=1, LI)
131 PRINT 24, K, (S(I, K), I=1, LI)
154 PRINT 25, I, P, R
132 PRINT 121
133 PRINT 122, (I, I=1, P)
134 PRINT 123, (T(I, K), I=1, N)
135 PRINT 124
136 PRINT 125, T(I, J, K), T(I, J, K), T(I, J, K)
137 PRINT 126
138 DO 154 K=1, N
139 PRINT 127, K, IC(K), CCK(K), HC(K), UPR(K), TLY(K), TLT(K),
140 A(K), B(K), C(K)
152 CONTINUE
141 PRINT 128
142 IF (K=1) GO TO 163
143 DO 172 LP=1, K
144 C=CKP(LP)
145 PRINT 132, K, SK(K)
146 DO 170 L=1, NJ, 16
147 LK=L+15
148 IF (LK.GT.4K) LK=4K
149 PRINT 134, (I, J=L, LK)
150 PRINT 135, (U(I, J), J=L, LK)
151 DO 170 I=1, NI
152 PRINT 136, (I, Z(I), (U(I, J, K), J=L, LK))
172 PRINT 137, (U(I, J, K), J=L, LK)
163 IF (JP(1), E, J) GO TO 171
170 DO 174 LP=1, J
171 J=JP(LP)
172 PRINT 164, J, R(J)
173 DO 172 L=1, 4K, 16
174 LK=L+15
175 IF (LK.GT.4K) LK=4K
176 PRINT 161, (K, K=L, LK)
177 PRINT 135, (T(I, J), I=L, LK)
178 DO 172 I=1, NI
179 PRINT 136, (I, Z(I), (U(I, J, K), K=L, LK))
172 PRINT 137, (U(I, J, K), K=L, LK)
171 IF (IP(1), E, J) GO TO 173
170 DO 174 LP=1, J
171 J=IP(LP)
172 PRINT 160, J, Z(J)
173 DO 174 L=1, 4K, 16
174 LK=L+15
175 IF (LK.GT.4K) LK=4K
176 PRINT 161, (K, K=L, LK)
177 PRINT 163, (SK(J), J=L, LK)
178 DO 174 J=1, NJ
179 PRINT 136, (I, J, K), (U(I, J, K), K=L, LK))
172 PRINT 137, (U(I, J, K), K=L, LK)
173 PRINT 137, (IP(I, I), I=Z, INT)
174 IF T=HI
175 CONTINUE
176 IF (T, JT, TKON) GO TO 15

```

C.62 PCH 67-87

071014

DSJ=HIDL4,S

*** GRUITS ***

```

255 IF (I-KT=TIME),G1 0,)) *I=Y+T
256 IF (I-T*(TIME) 16,17,17
257 17 I=I+1
258 H1=547/I
259 15 T3=T-(T-1)*T/E
260 I=1
261 14 IF (I3-T*(TIME) 17,19,20)
262 20 I=I+1
263 GC TO 13
264 13 T4=T-(T-1)*T3
265 21 GC 31 T=1,
266 GC 32 J=1,
267 IX=L(I),
268 AL=X/I-1/(1/J)+1
269 AL=X/I-1/(1/J)+1
270 GC 50 I=1,
271 1=1,
272 1=1,
273 JL=L(I,J,K)
274 IF (H1=1/(1)) 51,52,52
275 51 TL=TL*(1)
276 GC TO 53
277 52 IF (H1=12(1)) 45,45,44
278 45 TL=J,5=(TL*(1)+T*(1))
279 GC TO 53
280 44 TL=TL*(1)
281 53 IF (I=1) 54
282 GC TO (54),111
283 T=1)=1/(1/(1,1))
284 GC TO 57
285 56 TF1)=1/(1,")
286 57 U1=1/(1)+(1/(1/(1,")-T*(1)))/T2+T
287 IJ=R(1)
288 GC TO (59,5),1J
289 54 R1=TL/(1)*(1-L)*2
290 GC TO 56
291 59 R1=J1
292 GC TO 56
293 GC TO (51),111
294 RE1)=R1(I,1,1)
295 AB1)=R1(I,1,1)
296 GC TO 57
297 61 RE1)=R1(L,")
298 AB1)=R1(L,")
299 62 R+1)=R110+(1/(1/(1,")-R110)/T2+T4
300 AL1)=R110+(1/(1/(1,")-R110)/T2+T4
301 R1=2/(1*(1) TL+2*(1/(1/(1+R11)))*1/(1+1)
302 GC TO 56
303 54 U1=J(I-1,1,1)
304 12=R1(I-1,1,1)
305 HA2=H(I-1,J,K)
306 IF (H2-H1(1,2)) 63,64,64
307 63 TL1=TL1(H2)
308 GC TO 55
309 64 TL1=TL1(12)
310 IF (HA2,LC,12(12)) TL1=J 5+(TL1(12)+TL1)
311 UX=1/(1-1)+1/(1)
312 R1=2*(1/(1-1)+TL1+H1(I)*TL)/(UX+1)*(1-1)
313 65 IF (I=1) 67,67,67
314 67 U2=J(I+1,J,1)
315 12=R1(I+1,J,1)
316 HA2=H(I+1,J,K)
317 IF (H3-H1(1,2)) 66,70,70
318 67 TL2=TL1(1,1)

```


841116
20 123114,0

- 5 -

*** 58J175 ***

```

311  GL TO 11
321  TL2=TLT( 12)
331  IF (H1,LE,12(42)) TL2=0.5*(TL1(1)+TL2)
341  UX=HJ(I+1)+HJ(I)
351  R2=2*(H1(I+1)+TL2+H1(I)+TL)/(UX+UX)=(U2-UL)
361  GL TO 12
371  U2=1.5*(4 K1
381  IF (H1(1)-1) 73,74,73
391  R2=TL/11(1+1*(J2-UL)*2
401  GL TO 12
411  R2=J2
421  IF (J,1,1) GO TO 75
431  J1=HJ
441  IF (H1(2)-1) 75,77,76
451  R3=TL/11(1)+HJ(J)-2
461  GL TO 79
471  R5=HJ
481  GL TO 79
491  U3=U(1,J-1,K)
501  H2=H(1,J-1,K)
511  H2=H(1,J-1,K)
521  IF (H1(2)-H1(12)) 30,31,31
531  TL3=TL1(12)
541  GL TO 32
551  R1 TL3=TLT(42)
561  IF (H1(2,LE,12(12)) TL3=0.5*(TL1(12)+TL3)
571  UX=HJ(J+1)+HJ(J)
581  R3=2*(HJ(J+1)+TL3+HJ(J)+TL)/(UX+UX)=(U3-UL)
591  IF (J,1,1) GO TO 73
601  U4=HJ
611  IF (H1(3)-1) 74,85,54
621  R4=TL/11(1)+HJ(J)-2
631  GL TO 30
641  H4=HJ
651  GL TO 30
661  U4=U(1,J+1,K)
671  V2=H(1,J+1,K)
681  H2=H(1,J+1,K)
691  IF (H1(2)-H1(12)) 37,88,85
701  TL4=TL1(12)
711  GL TO 89
721  TL4=TLT(42)
731  IF (H1(2,LE,12(42)) TL4=0.5*(TL1(12)+TL4)
741  UX=HJ(J+1)+HJ(J)
751  R4=2*(HJ(J+1)+TL4+HJ(J)+TL)/(UX+UX)=(U4-UL)
761  IF (K,1,1) GO TO 81
771  U5=HJ
781  IF (H1(4)-1) 72,93,92
791  R5=TL/11(1)+HJ(J)-2
801  GL TO 78
811  R5=HJ
821  GL TO 98
831  U5=U(1,J,K+1)
841  H2=H(1,J,K+1)
851  H2=H(1,J,K+1)
861  IF (H2-H1(12)) 93,96,96
871  TL5=TL1(12)
881  GL TO 97
891  TL5=TLT(42)
901  IF (H2,LE,12(42)) TL5=0.5*(TL1(12)+TL5)
911  UX=HJ(K+1)+HJ(K)
921  R5=2*(HJ(K+1)+TL5+HJ(K)+TL)/(UX+UX)=(U5-UL)
931  IF (K,1,1) GO TO 99
941  U6=HJ

```

C.64 PCH 67-87

871116

- 7 -

CS 10418L4,S

*** GROUPS ***

```

353 IF (MK(5)-1) 100,101,104
354 101 R6=IL/IK(K)* (U6-LL)*2
355 GC TO 103
356 100 R6=T3*K
357 GC TO 103
358 9) U6=U(I,J,K+1)
359 H2=H(I,J,K+1)
360 HA2=H(I,J,K+1)
361 IF (HA2-H1(U2)) 104,105 105
362 104 TL6=TL(I12)
363 GC TO 106
364 105 TL6=TLT(U2)
365 IF (H2,LE,12(U2)) TL6=0.5*(TL(I12)+TL6)
366 106 UX=IK(K+1)+IK(K)
367 R6=2*(I/(I+1)*TL6+MK(K)*TL)/(U*(UX)*(U6-LL)
368 103 CCITINJE
369 F=J,0
400 108 H1J=(I,J,K)+1+IT*(R1+R2)/(I1(I)+(I3+R4)/IJ(J)+(R5+I5)/K(K+1)+I)
401 HA1=H(I,J,K)
402 IF (H1-I1(U1)) 111,112,112
403 112 IF (HA1-H2(U1)) 113,113,114
404 113 UL1=UL(I1)
405 GC TO 115
406 114 UL1=(H1-I2(U1))/CTAL(U1)+UKR(I1)
407 GC TO 115
408 111 IF ((A(N1),I,0,0,0) AND (C(U1),E2,C,0)) GO TO 4
409 CALL FIND(I1,I1,LL1)
410 GC TO 115
411 4 UL1=H1/I1(I1)+TX+TK
412 UN(I,J,K)=UL1
413 50 CCITINJE
414 32 CCITINJE
415 31 CCITINJE
416 DC 42 K=1,IK
417 DC 42 J=1,IJ
418 DC 42 I=1,II
419 U(I,J,K)=U(I,J,K)
420 H(I,J,K)=H(I,J,K)
421 42 CCITINJE
422 IF (T,LT (TPR-0.01)) GO TO 10
423 IF (HPR(I),GT,0.0) IPR=IPR+1
424 TPR=TPR+IPR(IIPR)
425 3 KIP=KI-1
426 IBRP=IBR-1
427 IF (KP(I),EQ,0) GO TO 143
428 DC 143 LP=1,KW
429 K=KP(LP)
430 DO 145 I=1,II
431 DC 145 J=1,IJ
432 H1=H(I,J,K)
433 HA1=H(I,J,K)
434 IF ((H1(U1),LE HN1),AND (HN1,LE,H2(U1)))
435 104 UN(I,J,K)=700.0+100*(HN1-H1(I1))/ (H2(I1)-H1(I1))
436 145 CCITINJE
437 PRINT 133,K,SK(K),T,KTP,IBRP,T4
438 DC 143 L=1,IJ,16
439 LK=L+15
440 IF (LK,GT,41) LK=41
441 PRINT 134, (J,J=L,LK)
442 PRINT 135, (R(J),J=L,LK)
443 DC 143 I=1,II
444 PRINT 136, (I,Z(I), (UN(I,J,K),J=L,LK))
445 143 CCITINJE
446 IF (JP(I),EQ,0) GO TO 165
447

```

B'111A

- 2 -

GS 1271BL4,9

*** GRU47S ***

```

443      DC 165 LP=1,J4
444      J=JP(LP)
445      DC 162 K=1,JK
446      DC 162 I=1,II
447      H1=H(I,J,K)
448      H2=H(I,J,K)
449      IF (H1) LE,HA12,A10,(H21,LE,12(11))
450      10A(I,J,K)=700.0+100*(H1-H2(11))/(12(H1)-11(11))
451      149 CC 171/E
452      PRI 17 160,J,1(J),T,KTP,1ARP,14
453      DC 163 L=1,JK,14
454      LX=L+13
455      IF (L,GT,14) LR=AK
456      PRI 17 161,(K,K=L,L)
457      PRI 17 135,(S(I),I=L,LK)
458      DC 164 I=1,II
459      106 PRI 17 136,(I,Z(I),(UN(I,J,K),K=L,LK))
460      105 CC 171/E
461      IF (12(1),E,J) GC TO 167
462      DC 167 LP=1,I4
463      I=IP(LP)
464      DC 165 K=1,JK
465      DC 165 J=1,II
466      H1=H(I,J,K)
467      H2=H(I,J,K)
468      IF (H1) LE,HA12,A10,(H21,LE,12(11))
469      10A(I,J,K)=700.0+100*(H1-H2(11))/(12(H1)-11(11))
470      149 CC 171/E
471      PRI 17 162,I,Z(I),T,KTP,1ARP,14
472      DC 167 L=1,JK,14
473      LX=L+13
474      IF (L,GT,14) LR=AK
475      PRI 17 161,(K,K=L,LK)
476      PRI 17 163,(S(J),J=L,LK)
477      DC 164 J=1,II
478      108 PRI 17 136,(I,Z(I),(UN(I,J,K),K=L,LK))
479      107 CC 171/E
480      GC TO 10
481      15 CC 171/E
482      RETJRA
483      END

```

C.66 PCH 67-87

*1116

*318L4.S

*** VNS ***

```

1      SLURTIME WNS(H,A,B,C)
2      DIMENSION A(4),B(4),C(4),T(3,10),L(7,10),Z(10,11),U(11)
3      FCN'AT (12F6.2)
4      READ 11,((T(I,J),I=1,3),J=1,1)
5      READ 11,((L(I,J),I=1,3),J=1,1)
6      FCN'AT (22X,7HJ4(T1)=,F6.2,3X,7HJ4(T2)=,F6.2,3X,7HJ4(T3)=,F6.2)
7      PRINT 16
8      U(1)=-30.0
9      DO 6 J=2,6
10      U(J)=U(J-1)+5.0
11      DO 5 J=7,11
12      U(J)=L(J-1)+1.0
13      DO 10 I=1,4
14      W2=A(2,I)-1/3,I)
15      U1=T(1,I)-T(3,I)
16      W1=A(1,I)-1/3,I)
17      U2=T(2,I)-T(3,I)
18      IF ((-3.0001,LT,=2).AND.(W2,LT,0.0001)).OR.((-0.0001,LT,=1).AND.
19      (L(1,LT,0.0001))) GC TO 2
20      GC TO 24
21      A(1)=0.0
22      B(1)=C(0001
23      C(1)=W(1,I)
24      GC TO 4
25      B(1)=T(2,I)+42*U1-T(1,I)*W1+J2)/(J2+U1-W1*J2)
26      A(1)=1*(J(1)-T(1,I))+5(I)-T(3,I)/11
27      C(1)=W(3,I)-A(1)/(B(1)-T(3,I))
28      DO 3 J=1,11
29      Z(I,J)=A(1)/(B(1)-U(J))+C(1)
30      CONTINUE
31      FCN'AT (T41,'НЕЗАМЕРЗАЮЩАЯ ВОДА ПО СТОЯН')
32      FCN'AT (21,T25,'ВХОДЯЩЕЕ АТМОСФЕРНОЕ ВОЗДУШНОЕ ПОТОК',30X,'ВЫХОДЯЩЕЕ КОЭФ
33      #ВУМЕНТЪ (ДВУБОИ)')
34      FCN'AT (11),11X,4HЕЛОЯ,13,6X,4IT1 =,F6.2,6X,4IT2 =,F6.2,6X,4IT3 =,
35      #F6.2)
36      FCN'AT (22X,7HJ4(T1)=,F6.2,3X,7HJ4(T2)=,F6.2,3X,7HJ4(T3)=,F6.2,3X,
37      #2HA(12,21)=,F6.4,4X,2HB(12,21)=,F6.4,4X,2HC(12,21)=,F6.4)
38      PRINT 17
39      DO 20 I=1,1
40      PRINT 18,(I,T(1,I),T(2,I),T(3,I))
41      PRINT 19,(J4(I),L(2,I),L(3,I),I,A(I),I,B(I),I,C(I))
42      FORMAT (210,T40,'КОНТРОЛЬНАЯ ТАБЛИЦА ШАЧЕН ИА ШИ ОТ Т')
43      FCN'AT (11),14X,2HT=,7X,11F7.2)
44      FCN'AT (11X,4HЕЛОЯ,13,6X,11F7.2)
45      PRINT 21
46      PRINT 22,1
47      PRINT 23,((I,(Z(I,J),J=1,11)),I=1,4)
48      RETJRA
49      END

```

871016

- 1 -

CS: H10L4,5

*** FIND ***

```

1      SLH10L4 INL FI 10(HA1,A1,UL1)
11     CC 1401 /T 4L/ FT(50,10),F510(10,10),F25(15,10),F02(20,10),
21     #H1(10),H2(10)
31     IF (HA1,GT,IT(30,A1)) GO TO 204
41     IF (HA1,GT,IT(40,A1)) GO TO 202
51     ML=41
61     ML=50
71     GC TO 203
81     202 ML=31
91     ML=40
101    203 DC 204 IN=40,40
111    IF (HA1,GE,FT(10,A1)) GO TO 205
121    204 CC 111 JE
131    205 WA=FT(11,1)
141    WB=FT(11-1,A1)
151    XA=-1
161    XR=-1
171    GC TO 200
181    IF (H1,GT,IT(10,A1)) GO TO 206
191    IF (H1,GT,IT(20,A1)) GO TO 207
201    ML=21
211    ML=30
221    GC TO 203
231    207 DC=11
241    JL=10
251    GC TO 203
261    IF (HA1,GT,IT(2,A1)) GO TO 208
271    IF (HA1,GT,IT(5,A1)) GO TO 209
281    DL 21, IV=2,1
291    IF (HA1,GE,F510(1A,A1)) GO TO 211
301    CC 111 JE
311    211 WA=F510(1,A1)
321    WB=F510(1-1,A1)
331    XA=-5,0-0,5+14
341    XB=XA+0,5
351    GC TO 200
361    207 DC 212 IV=2,15
371    IF (HA1,GE,F25(1A,A1)) GO TO 213
381    212 CCNT 111 JE
391    213 WA=F25(1A,A1)
401    WB=F25(1A-1,A1)
411    XA=-2,0-0,2+11
421    XB=XA+0,2
431    GC TO 200
441    208 IF (HA1,GE,F02(1,A1)) GO TO 216
451    GC TO 217
461    216 WA=F02(1,A1)
471    WB=H1(11)
481    XA=-0,1
491    XB=0,0
501    GC TO 200
511    217 DC 214 IN=2,20
521    IF (HA1,GE,F02(1A,A1)) GO TO 215
531    216 CCNT 111 JE
541    215 WA=F02(1A,A1)
551    WB=F02(1A-1,A1)
561    XA=-0,1+14
571    XB=XA+0,1
581    200 UL1=(H1-1-WA)/(WB-WA)*(XB-XA)+XA
591    RET JRA
601    END

```

C.68 PCH 67-87

0'1)16

- 1 -

S 1791BL4,5

*** HF ***

```

1  FUNCTION HF(N,U1)
11  CL=1'D\ /RFIS/BACK(10),CCV(10),WC(10),UKR(10)
21  CL=1'D\ /CJEF/A(10),B(10),C(10)
22  CL=1'D\ /CJIST/RV,CL,C3,TFR,TK
31  D=B(N)
41  D1=TK- )
51  D2=U1-TK
61  HF=BACK(1)+(CCV(A)+RV*CL*WC(A)+C(b)+(C3-P/*CL))*D1+1(1)*
71  3((RV*CL-Cb)*ALOG(ABS((U1-D)/r1))+TFR*D2/((11-U)*D1)))
81  RETURN
91  END

```

СО Д Е Р Ж А Н И Е

I. Общие положения	2
2. Алгоритм и структура программы	4
2.1. Математическая постановка задачи	4
2.2. Алгоритм решения задачи	6
2.3. Структура программы	10
3. Подготовка исходных данных для расчета	13
3.1. Расчетная область	13
3.2. Разбивка области исследования	15
3.3. Начальные условия	17
3.4. Граничные условия	17
3.5. Физические и теплофизические свойства	22
3.6. Дополнительные данные, необходимые для проведения расчета	23
4. Проведение расчета	26
4.1. Вызов и загрузка программы в ЭВМ	26
4.2. Составление программы <i>MAIN</i> и подпрограммы <i>BLOCK DATA</i>	27
4.3. Подготовка к вводу группы данных с перфокарт	30
4.4. Выходные данные	34
4.5. Подготовка данных для расчета по программе <i>PROGNOZ-23</i>	35
4.6. Подготовка данных для расчета по программе <i>PROGNOZ-3N</i>	35
4.7. Подготовка данных для расчета по программе <i>PROGNOZ-2N</i>	43
4.8. Подготовка данных для расчета по программе <i>PROGNOZ-L</i>	43
Приложение I	46
Пример расчета	46
Исходные данные для расчета контрольного примера приложения I по программе <i>PROGNOZ-33</i>	51
Выдача на печать для контроля ввода начальных данных, подготовленных для расчета по программе <i>PROGNOZ-33</i> контрольного примера приложения I	54

Приложение 2. Пример текста подпрограммы <i>ISTO</i> . . .	55
Приложение 3. Текст программы <i>PROGNOZ-3S</i> с результатами расчета контрольного примера приложения I	56

Центральный ордена "Знак Почета" трест
инженерно-строительных изысканий

Отдел механизации проектных работ и выпуска проектов

Подписано в печать 22.10.87

Зак. **467** Объем 5 п.л. Цена 50 коп. Тир. 700