

Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана

П. Н. Горюнов, Э. Н. Камышная, В. В. Маркелов

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
КОНСТРУКТОРСКИХ РАСЧЕТОВ РЭС И ЭВС**

Издательство МГТУ

1993

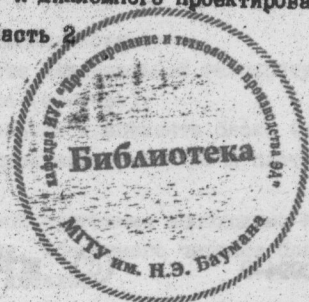
Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

П.Н.Горюнов, Э.Н.Камышная, В.В.Маркелов

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
КОНСТРУКТОРСКИХ РАСЧЕТОВ
РЭС И ЭВС

Методические указания
для курсового и дипломного проектирования

Часть 2



Издательство МГТУ

1993

БЕК 32.844

Г71

Рецензент А.В.Фролов

Г71 Горюнов П.Н., Камышная Э.Н., Маркелов В.В. Программное обеспечение конструкторских расчетов РЭС и ЭВС: Метод. указания для курсового и дипломного проектирования. Ч. 2. - М.: Изд-во МГТУ, 1993. - 24 с.

ISBN 5-7038-0994-0

Рассмотрен расчет теплового режима блоков РЭС и ЭВС при принудительном воздушном охлаждении, приведены алгоритм, программа расчета и контрольный пример.

Для курсового и дипломного проектирования по курсу "Конструирование РЭС".

Ил. 3. Библиогр. 4 назв.

БЕК 32.844

ISBN 5-7038-0994-0



МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1993.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Программное обеспечение инженерных методов расчета теплового режима модулей при принудительном воздушном охлаждении используется на стадиях технического и рабочего проектирования.

В данных методических указаниях излагается общее описание программы теплового расчета блоков РЭС и ЭВС, раскрывается функциональное назначение этого программного средства, дается описание его логической структуры, приводится описание входных и выходных данных.

Программное обеспечение предназначено для проведения расчетов на электронных компонентах /интегральных микросхемах (ИМС) и дискретных электрорадиоэлементах (ЭРЭ)/, объединенных на печатных платах и конструктивно выполненных в виде модулей второго уровня (блоки, приборы).

Результаты работы программы приведены в контрольном примере.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПРОГРАММ В КОНСТРУКТОРСКИХ РАСЧЕТАХ РЭС И ЭВС

Программа расчета теплового режима блоков РЭС и ЭВС при принудительном воздушном охлаждении написана на языке BASIC, является самодокументированной и соответствует дисциплине курса "Конструирование РЭС".

Программа может быть использована:

- при проверочном расчете максимальной температуры критичного к перегреву компонента блока (прибора);
- при исследовании перегрева компонента блока (прибора);
- при исследовании оптимального размещения плат в блоке (приборе).

Расчеты по предлагаемой программе необходимо проводить при наличии технического задания, сборочного чертежа блока РЭС (ЭВС), рабочих чертежей отдельных деталей.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ

При проведении расчета конструкция блоков РЭС и ЭВС заменяется тепловой моделью (рис. I), в которой платы с расположенными на них компонентами (ИМС, ЭРЭ) представляются областью, называемой нагретой зоной.

Следует отметить, что данная программа является составной

частью программы общего теплового расчета и дальнейшим развитием программы для расчета тепловых режимов при естественном охлаждении, поэтому положения, общие для этих двух программ, здесь не приводятся [1].

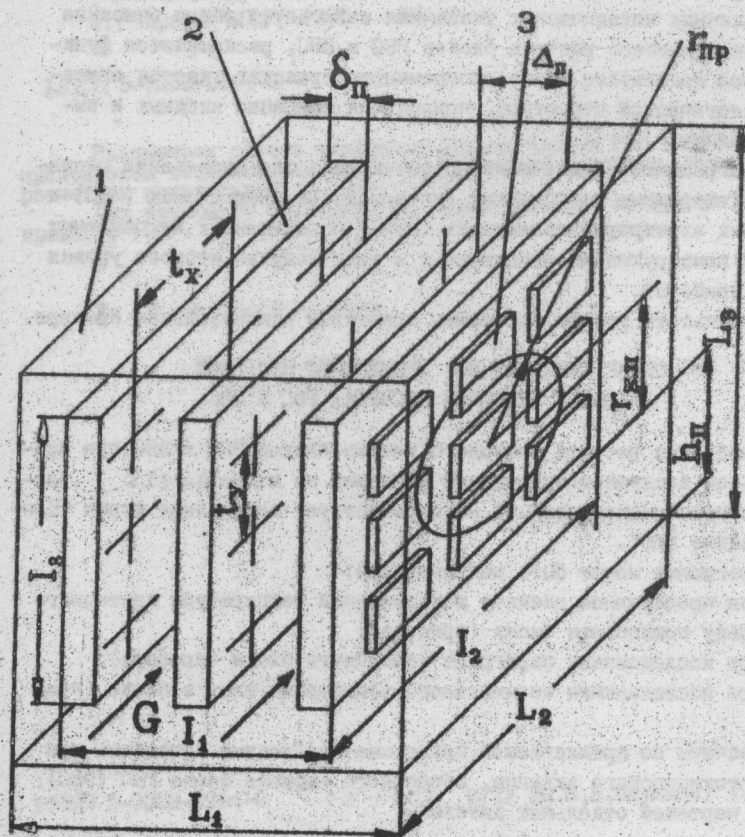


Рис. 1. Тепловая модель блока ЭЭС (ЭВС):
 1 - кожух; 2 - модуль 1-го уровня;
 3 - электронный компонент (интегральная микросхема ЭРЭ)

Данный расчет используется только в том случае, если естественное охлаждение не позволяет обеспечить требуемый тепловой ре-

жим, т.е. температура наиболее теплонагруженного ЭРЭ (ИМС) превышает допустимую.

В этом случае, переходя к расчету теплового режима блоков РЭС и ЭВС при принудительном воздушном охлаждении, студент обязан предварительно провести расчет теплового режима при естественном охлаждении и использовать некоторые результаты этого расчета как исходные данные для расчета при использовании принудительного воздушного охлаждения.

Итак, структура общего расчета теплового режима имеет вид:
 расчет теплового режима блока при естественном охлаждении;
 если естественное охлаждение не обеспечивает нормального теплового режима, необходимо изменить конструкцию блока (изменить зазор между платами и др.) и повторить расчет;

если принятые меры по изменению конструкции не дали положительного результата, необходимо использовать принудительное охлаждение и провести соответствующие расчеты, используя необходимые данные предыдущих этапов.

Под термином "воздушный канал" понимается часть блока, ограниченная поверхностями соседних ячеек и свободная для циркуляции воздуха (рис. 2).

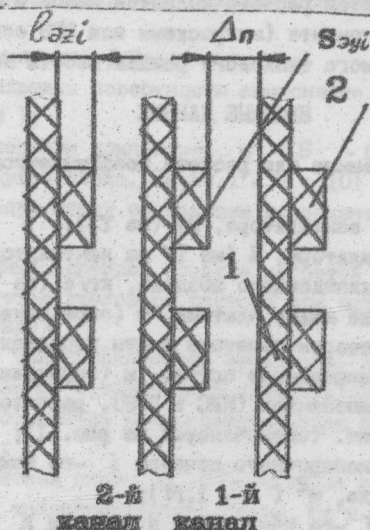


Рис. 2. Сечение X воздушного канала:
 1 - модуль I-го уровня; 2 - электронный компонент (интегральная микросхема, ЭРЭ)

Под термином "сечение X воздушного канала" понимается сечение этого канала, взятое перпендикулярно направлению воздушного потока. В сечении X воздушного канала определяются два коэффициента теплоотдачи α_1 и α_2 :

в части сечения, образованной одной стороной ячейки и соседней ячейкой (1-й канал),

в части сечения, образованной обратной стороной ячейки и соседней ячейкой (2-й канал).

Программа расчета теплового режима при принудительном воздушном охлаждении состоит из двух этапов:

1-й этап - расчет температуры воздуха в сечении канала t_g . Для оценки эффективности процесса охлаждения в каждом канале на этом этапе вычисляются также критерий Рейнольдса и коэффициент теплоотдачи α .

2-й этап - расчет температуры корпуса компонента t_k .

После каждого этапа результаты расчета выводятся на печать.

Рассмотрим описание исходных данных и ограничений по каждому из двух этапов расчета. Распечатка ввода исходных данных и вывода результатов расчета приведена в контрольном примере.

По результатам расчета делается вывод о допустимой температуре корпуса компонента (микросхемы или ЭРЭ согласно ТУ), об обеспечении допустимого теплового режима работы микросхемы или ЭРЭ.

ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ

исходные данные для расчета коэффициентов теплоотдачи (1-й этап):

- Q_b - мощность вентилятора, Вт (из ТЗ);
- η_b - КПД вентилятора, % (из ТУ на вентилятор [4]);
- G - расход охлаждающего воздуха, кг/с (из ТУ на вентилятор);
- Δ_n - расстояние между платами, м (определяется из рис. 1);
- l_1, l_2 - размеры сторон печатной платы, параллельной и перпендикулярной направлению потока, м (определяется из рис. 1);
- M - число компонентов (ИМС и ЭРЭ), расположенных в сечении X канала, шт. (определяется из рис. 1);
- S_{xyi} - площадь поперечного сечения i -го компонента в сечении X канала, m^2 ($i = 1, M$);
- h_{xi} - высота i -го компонента в сечении X канала, м;
признак типа вентиляции (1 - приточная, 2 - вытяжная)
(из сборочного чертежа);

- $Q_{зхj}$ - мощность j -го компонента, расположенного перед корпусом рассчитанного компонента по направлению воздушного потока в канале, Вт;
- n_y - число таких компонентов ($j = 1, n_y$);
- ν_b - кинематическая вязкость воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$, определяется как отношение динамической вязкости μ_b (из табл. 2 приложения по температуре) к плотности воздуха: $\nu_b = \mu_b / \rho_b$;
- ρ_b - плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$ ($\rho_b = 1,293 \text{ кг}/\text{м}^3$);
- N_n - число печатных плат в блоке (определяется из рис. 1);
признак типа корпусов компонентов в сечении X канала (1 - прямоугольные корпуса со штыревыми выводами, 2 - цилиндрические корпуса, 3 - плоские корпуса с планарными выводами);
- λ_b - коэффициент теплопроводности воздуха, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ (определяется из табл. 2 приложения по температуре);
- t_b - температура воздуха в сечении канала, $^{\circ}\text{C}$.
- Исходные данные для расчета температуры компонента (2-й этап):
- t_0 - базовая температура, т.е. температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$ (из ТЗ);
- Q_3 - мощность компонента, Вт;
- S_3 - суммарная площадь поверхности компонента и его радиатора, м^2 ($S_3 > 0$);
- S_{30} - площадь основания компонента, м^2 ($S_{30} > 0$);
- H - давление внутри блока, Па ($0,1 < H < 101\,300 \text{ Па}$);
- δ_3 - толщина зазора между основанием компонента и печатной платой, м;
- Δt_{co} - среднеобъемный перегрев воздуха нагретой зоны блока, $^{\circ}\text{C}$ (по результатам теплового расчета при естественном воздушном охлаждении);
- λ_3 - коэффициент теплопроводности материала, заполняющего зазор между основанием компонента и печатной платой, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$;
- $r_{к.п}$ - расстояние от центра компонента до края печатной платы, м ($r_{к.п} > 0$);
- δ_n - толщина печатной платы, м (определяется из рис. 1);
- $\lambda_{зкб}$ - коэффициент теплопроводности платы, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ ($\lambda_{зкб} > 0$);
признак расположения компонентов на плате (1 - одностороннее, 2 - двустороннее);
- t_x, t_y - шаг установки микросхем по осям X и Y, м (определяется из рис. 1);

N - число компонентов, влияющих на тепловой режим рассчитываемого компонента, т.е. расположенных от него на расстоянии не более радиуса предельного теплового влияния, шт. (определяется из рис. 1);

r_{np} - предельный радиус теплового влияния, м;
для каждого i -го компонента, влияющего на тепловой режим рассчитываемого компонента, вводятся следующие данные ($i = 1, N$);

r_i - расстояние между центрами рассчитываемого и i -го компонентов, м (определяется из рис. 1) ($r_i < r_{np}$);

$Q_{эл}$ - мощность, рассеиваемая i -м компонентом, Вт;

$r_{к.п.i}$ - расстояние от центра i -го компонента до края печатной платы, м (рассчитываемый компонент имеет номер $i = 0$);

L_1, L_2, L_0 - габаритные размеры блока, м.

Если способ установки или размеры i -го компонента и его радиатора отличаются от способа установки или размеров $(i+1)$ -го компонента, то дополнительно вводятся данные:

$S_{эл}$ - площадь основания i -го компонента, м²;

$S_{эл}$ - суммарная площадь поверхности i -го компонента и его радиатора, м²;

$\delta_{эл}$ - толщина зазора между основанием i -го компонента и печатной платой, м;

$\lambda_{эл}$ - коэффициент теплопроводности материала, заполняющего зазор между основанием компонента и печатной платой, Вт/м·К.

ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Алгоритм расчета теплового режима при принудительном охлаждении приведен на рис. 3.

Алгоритм реализован программой, текст которой представлен в приложении.

КОНТРОЛЬНЫЙ ПРИМЕР

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА БЛОКА ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ВОЗДУШНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

ВВЕДИТЕ ТЕМПЕРАТУРУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ [ГРАД. С] 22

ВВЕДИТЕ МОЩНОСТЬ ВЕНТИЛЯТОРА [ВТ] 10

ВВЕДИТЕ КПД ВЕНТИЛЯТОРА [%] 50

- ВВЕДИТЕ РАСХОД ОХЛАЖДАЮЩЕГО ВОЗДУХА [КГ/С] 0.15
ВВЕДИТЕ РАЗМЕР СТОРОНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ, ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ
НАПРАВЛЕНИЮ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА [М] 0.3
ВВЕДИТЕ РАЗМЕР СТОРОНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ
НАПРАВЛЕНИЮ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА [М] 0.5
ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КОМПОНЕНТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В СЕЧЕНИИ X
ВОЗДУШНОГО КАНАЛА 4
ВВЕДИТЕ ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ 1-ГО КОМПОНЕНТА
В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М*М] 0.00005
ВВЕДИТЕ ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ 2-ГО КОМПОНЕНТА
В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М*М] 0.00005
ВВЕДИТЕ ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ 3-ГО КОМПОНЕНТА
В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М*М] 0.00004
ВВЕДИТЕ ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ 4-ГО КОМПОНЕНТА
В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М*М] 0.00006
ВВЕДИТЕ РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ПЛАТАМИ [М] 0.025
ВВЕДИТЕ ВЫСОТУ 1-ГО КОМПОНЕНТА В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М] 0.003
ВВЕДИТЕ ВЫСОТУ 2-ГО КОМПОНЕНТА В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М] 0.002
ВВЕДИТЕ ВЫСОТУ 3-ГО КОМПОНЕНТА В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М] 0.001
ВВЕДИТЕ ВЫСОТУ 4-ГО КОМПОНЕНТА В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М] 0.009
ВВЕДИТЕ ТИП ВЕНТИЛЯЦИИ I (1 - ПРИТОЧНАЯ, 2 - ВЫТЯЖНАЯ)
ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КОМПОНЕНТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ПЕРЕД КОРПУСОМ
РАССЧИТЫВАЕМОГО КОМПОНЕНТА ПО НАПРАВЛЕНИЮ ВОЗДУШНОГО
ПОТОКА В КАНАЛЕ 3
ВВЕДИТЕ МОЩНОСТЬ 1-ГО КОМПОНЕНТА [ВТ] 0.5
ВВЕДИТЕ МОЩНОСТЬ 2-ГО КОМПОНЕНТА [ВТ] 1.5
ВВЕДИТЕ МОЩНОСТЬ 3-ГО КОМПОНЕНТА [ВТ] 0.5
ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В БЛОКЕ 4
ВВЕДИТЕ КОЭФФИЦИЕНТ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ
ВОЗДУХА [М*М/С] 1.506E-5
ВВЕДИТЕ ПЛОТНОСТЬ ВОЗДУХА [КГ/М*М*М] 1.206
ВВЕДИТЕ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЗДУХА [ВТ/М*К] 2.6E-2
ВВЕДИТЕ ТИП КОРПУСОВ КОМПОНЕНТОВ В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА
1 - ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ КОРПУСА СО ШТЫРЬКОВЫМИ ВЫВОДАМИ
2 - ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОРПУСА
3 - ПЛОСКИЕ КОРПУСА С ПЛАНАРНЫМИ ВЫВОДАМИ 2
- ДАЛЕЕ ВВЕДИТЕ ДАННЫЕ ДЛЯ 2-ГО КАНАЛА
- ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КОМПОНЕНТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В СЕЧЕНИИ X
ВОЗДУШНОГО КАНАЛА 2

ВВЕДИТЕ ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ 1-ГО КОМПОНЕНТА
В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М*М] 0.0005

ВВЕДИТЕ ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ 2-ГО КОМПОНЕНТА
В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М*М] 0.0005

ВВЕДИТЕ РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ПЛАТАМИ [М] 0.025

ВВЕДИТЕ ВЫСОТУ 1-ГО КОМПОНЕНТА В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М] 0.005

ВВЕДИТЕ ВЫСОТУ 2-ГО КОМПОНЕНТА В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М] 0.005

ВВЕДИТЕ ТИП ВЕНТИЛЯЦИИ 1
(1 - ПРИТОЧНАЯ, 2 - ВЫТЯЖНАЯ)

ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КОМПОНЕНТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ПЕРЕД КОРПУСОМ
РАССЧИТЫВАЕМОГО КОМПОНЕНТА ПО НАПРАВЛЕНИЮ
ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В КАНАЛЕ 2

ВВЕДИТЕ МОЩНОСТЬ 1-ГО КОМПОНЕНТА [ВТ] 1

ВВЕДИТЕ МОЩНОСТЬ 2-ГО КОМПОНЕНТА [ВТ] 1

ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В БЛОКЕ 4

ВВЕДИТЕ КОЭФФИЦИЕНТ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ВОЗДУХА
[М*М/С] 1.506E-5

ВВЕДИТЕ ПЛОТНОСТЬ ВОЗДУХА [КГ/М*М*М] 1.205

ВВЕДИТЕ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЗДУХА [ВТ/М*К] 2.6E-2

ВВЕДИТЕ ТИП КОРПУСОВ КОМПОНЕНТОВ В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА
1 - ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ КОРПУСА СО ШТЫРЬКОВЫМИ ВЫВОДАМИ
2 - ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОРПУСА
3 - ПЛОСКИЕ КОРПУСА С ПЛАНАРНЫМИ ВЫВОДАМИ 1

ВВЕДИТЕ 1 - ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ КОМПОНЕНТА
0 - ДЛЯ ОКОНЧАНИЯ РАСЧЕТА 1

ВВЕДИТЕ ДАВЛЕНИЕ ВНУТРИ БЛОКА [ПА]
(ОТ 0.1 ПА ДО 1.013E5 ПА) 100000

ВВЕДИТЕ МОЩНОСТЬ КОМПОНЕНТА [ВТ] 1.25

ВВЕДИТЕ СУММАРНУЮ ПЛОЩАДЬ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОНЕНТА И
ЕГО РАДИАТОРА [М*М] 0.0022

ВВЕДИТЕ ПЛОЩАДЬ ОСНОВАНИЯ КОМПОНЕНТА [М*М] 0.000864

ВВЕДИТЕ ТОЛЩИНУ ЗАЗОРА МЕЖДУ ОСНОВАНИЕМ КОМПОНЕНТА
И ПЕЧАТНОЙ ПЛАТОЙ [М] 0.0001

ВВЕДИТЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МАТЕРИАЛА, ЗАПОЛНЯЮЩЕГО
ЭТОТ ЗАЗОР [ВТ/(М*К)] 0.01

ВВЕДИТЕ РАССТОЯНИЕ ОТ ЦЕНТРА КОМПОНЕНТА ДО КРАЯ
ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ [М] 0.02

ВВЕДИТЕ ТОЛЩИНУ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ [М] 0.0015

ВВЕДИТЕ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПЛАТЫ [ВТ/(М*К)] 0.3

ВВЕДИТЕ 1 - ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ РАСПОЛОЖЕНИИ КОМПОНЕНТОВ
В МОДУЛЕ

2 - ПРИ ДВУСТОРОННЕМ РАСПОЛОЖЕНИИ КОМПОНЕНТОВ I

ВВЕДИТЕ ШАГ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ ПО ОСИ X [М] 0.039

ВВЕДИТЕ ШАГ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ ПО ОСИ Y [М] 0.047

ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ,

РАСПОЛОЖЕННЫХ НЕ ДАЛЕЕ ЧЕМ НА 0.0132162М

ОТ РАССЧИТЫВАЕМОГО КОМПОНЕНТА, Т.Е.

ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА ЕГО ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ I

ВВЕДИТЕ РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ЦЕНТРАМИ РАССЧИТЫВАЕМОГО

КОМПОНЕНТА И I ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИМ

КОМПОНЕНТОМ [М] 0.03

ВВЕДИТЕ СРЕДНЕОБЪЕМНЫЙ ПЕРЕГРЕВ ВОЗДУХА НАГРЕТОЙ

ЗОНЫ БЛОКА [ГРАД. С] 30.4131

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА (I КАНАЛ) = 22.05 ГРАД. С

КРИТЕРИЙ РЕЙНОЛЬДСА В I-М КАНАЛЕ = 6117.659

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТДАЧИ В I-М КАНАЛЕ РАВЕН 31.13654

ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА (2 КАНАЛ) = 22.04667 ГРАД. С

КРИТЕРИЙ РЕЙНОЛЬДСА ВО 2-М КАНАЛЕ = 6179.957

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТДАЧИ ВО 2-М КАНАЛЕ = 22.38028

ПРЕДЕЛЬНЫЙ РАДИУС ВЗАИМНОГО ТЕПЛОВОГО ВЛИЯНИЯ = 0.0132162 М

ПЕРЕГРЕВ КОРПУСА РАССЧИТЫВАЕМОГО КОМПОНЕНТА = 64.2752 ГРАД. С

ТЕМПЕРАТУРА КОРПУСА КОМПОНЕНТА = 86.27523 ГРАД. С

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

Данная программа реализована на ПЭВМ, совместимой с IBM PC XT/AT. Наличие сопроцессора для выполнения операций с плавающей точкой не требуется.

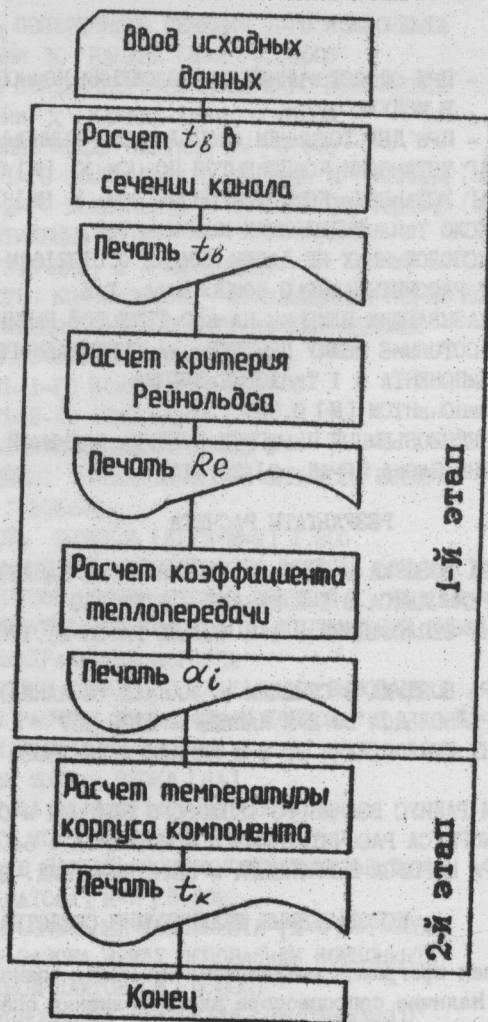


Рис. 3. Блок-схема алгоритма программы расчета теплового режима блока при принудительном воздушном охлаждении

ЛИТЕРАТУРА

1. Камышная Э.Н., Парфенов Е.М., Шерстнев В.В. Программное обеспечение конструкторских расчетов РЭА и ЭВА: Метод. указания для курсового и дипломного проектирования. Ч. I. М.: МВТУ, 1988. 34 с.
2. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высш. шк., 1964. 247 с.
3. Парфенов Е.М., Фролов А.В. Расчеты тепловых режимов блоков РЭА и ЭВА на микросхемах и дискретных элементах. М.: МВТУ, 1980. 32 с.
4. Шерстнев В.В. Конструирование и микроминиатюризация ЭВА. М.: Радио и связь, 1984. 280 с.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОГРАММ
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Пакет прикладных программ состоит из головного `boss.exe` и трех оверлейных модулей `cap1.exe`, `cap2.exe`, `cap3.exe`.

Вызов пакета производится модулем `boss.exe`.

Головной и оверлейные модули должны находиться в одной директории. Модуль `cap1.exe` производит конструкторско-технологический расчет печатных плат.

Модуль `cap2.exe` производит расчет экранирования.

Модуль `cap3.exe` производит расчет теплового режима при естественном и принудительном охлаждении.

Результаты расчетов выводятся в файлы на диск. Полное имя файла задает пользователь по запросу программы.

Файл с результатами расчетов может быть выведен на печатающее устройство.

Главное меню выводится на экран головным модулем. Стрелками управления курсором выбирается необходимый расчет, нажатием на клавишу <ВК> - вхождение в один из модулей.

Каждый модуль обеспечивает следующие режимы:

"Ввод". Этот режим обеспечивает ввод необходимых для расчета значений.

"Редактирование". Этот режим позволяет исправлять ранее введенное значение. Клавишами <Pg Up> и <Pg Dn> выберите строку с ошибкой и нажмите <F2>. Клавишей <Забой> удалите неправильное значение и введите новое. Нажмите <ВК>. После исправления всех ошибок нажмите <Pg Dn> и удерживайте ее до появления сообщения об окончании ввода.

"Запись". Этот режим можно включить только по окончании ввода и появления соответствующего сообщения.

"Выход". Команда прекращения расчета и выхода в меню. Для выхода из режимов "Ввод" и "Редактирование" используется клавиша <F10>.

СООТВЕТСТВИЕ ИДЕНТИФИКАТОРОВ И ПЕРЕМЕННЫХ

Идентификатор	Переменная
I	2
T0	t_0
Q4	Q_3
F4	S_3
F5	S_{30}
H2	H
D3	δ_3
U5	Δt_{e0}
L6	λ_3
Y1	$r_{к.п}$
D2	δ_n
L5	$\lambda_{2кв}$
R3	Признак расположения компонентов: 1 - одностороннее, 2 - двустороннее
T4	t_x
T5	t_y
N3	N
Y3	r_{np}
Q7	Q_6
Q6	η_6
G	G
Q5	Δ_n
T7	l_2
T1	l_3
G7	M
T9	S_{3y}
G1	l_{32}

I	2
V	Признак типа вентиляции: 1 - приточная, 2 - вытяжная
C9	$Q_{\text{эк}}$
N7	π_y
W7	∂_B
W8	ρ_B
W6	$N_{\text{п}}$
F6	λ_B
F7	Признак типа корпусов: 1 - цилиндрический, 2 - плоский, 3 - прямоугольный

Таблица 2

Физические свойства сухого воздуха
при давлении 101300 Па

$t, ^\circ\text{C}$	$C_p \cdot 10^{-3}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг град}}$	$\lambda_B \cdot 10^2, \frac{\text{Вт}}{\text{м град}}$	$\mu_B \cdot 10^5, \frac{\text{кг}}{\text{м с}}$
1	2	3	4
-50	1,013	2,035	1,462
-40	1,013	2,118	1,515
-30	1,013	2,198	1,570
-20	1,009	2,280	1,620
-10	1,009	2,361	1,669
0	1,005	2,442	1,718
5	1,005	2,471	1,741
10	1,005	2,514	1,767
15	1,005	2,546	1,791
20	1,005	2,586	1,815
25	1,005	2,627	1,841
30	1,005	2,674	1,865
35	1,005	2,715	1,885
40	1,005	2,756	1,910
45	1,005	2,784	1,935

1	2	3	4
50	1,005	2,819	1,963
55	1,006	2,854	1,985
60	1,007	2,888	2,015
65	1,008	2,923	2,032
70	1,009	2,958	2,061
75	1,009	2,998	2,085
80	1,009	3,039	2,109
85	1,009	3,080	2,128
90	1,009	3,120	2,150
95	1,009	3,161	2,166
100	1,009	3,202	2,189

Примечание. Соотношения между единицами; 1 мм рт.ст. = 133,3 Па; 1 бар = 100 000 Па; 1 кг/см² = 98070 Па.

Таблица 3
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Материал	ρ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	λ , $\frac{\text{Вт}}{\text{м град}}$	$C \cdot 10^{-3}$, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг град}}$
Алюминий	2700	210	0,900
Дюралюминий	2750	160-180	0,920
Железо (листовое)	7880	74,0	0,450
Керамика КПА-2 (Б-17)	2850	2,5-1,9	1,100
Керамика УША-2 (УФ-61)	3450	22,0-13,0	1,000
Компаунд Д-38	1200-1300	0,65	-
Компаунд ЭК-16	1350	0,3-0,35	1200-1400
Лак бакелитовый	1400	0,29	-
Латунь	8600	86,5	0,376
Магний	1700	172,1	1,060
Медь	8930	390-380	0,380
Резина пористая	250	0,060	2,050
Резина твердая	1200	0,160	1,380
Пенопласт	100-230	0,05-0,06	-
Сталь	7900	45,0	0,470
Стеклотекстолит	1800	0,372	0,420

**ИСХОДНЫЙ ТЕКСТ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА
ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА БЛОКОВ РЭС И ЭВС ПРИ
ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ВОЗДУШНОМ ОХЛАЖДЕНИИ**

```

5 DIM Z(3)
10 PRINT ">>>>>          РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА          <<<<<<"
15 PRINT ">>>>> ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ВОЗДУШНОМ ОХЛАЖДЕНИИ <<<<<<"
35 PRINT
40 PRINT "ВВЕДИТЕ ТЕМПЕРАТУРУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ [ГРАД. С] ";
50 INPUT T0
60 PRINT "          МОЩНОСТЬ ВЕНТИЛЯТОРА [ВТ]          ";
70 INPUT Q7
80 PRINT "          КПД ВЕНТИЛЯТОРА [%]          ";
90 INPUT Q6
100 PRINT "          РАСХОД ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА [КГ/С]          ";
110 INPUT G
120 PRINT "          РАЗМЕР СТОРОНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ, ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ"
130 PRINT "          НАПРАВЛЕНИЮ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА [М]          ";
140 INPUT T7
150 PRINT "          РАЗМЕР СТОРОНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ, ПЕРПЕНДИ-"
160 PRINT "          КУЛЯРНОЙ НАПРАВЛЕНИЮ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА [М]";
170 INPUT T1
180 FOR D=1 TO 2
190 PRINT "ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КОМПОНЕНТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В "
200 PRINT "          СЕЧЕНИИ X ВОЗДУШНОГО КАНАЛА          ";
210 INPUT G7
220 LET G8=0
230 FOR I=1 TO G7
240 PRINT "ВВЕДИТЕ ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ"; I; "-ГО"
250 PRINT "          КОМПОНЕНТА В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М*М]          ";
260 INPUT T9
270 LET G8=G8+T9
280 NEXT I
290 PRINT "          РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ПЛАТАМИ [М]          ";
300 INPUT Q5
310 LET T2=T1+Q5-G8
320 LET T8=0
330 FOR J=1 TO G7
340 PRINT "          ВЫСОТУ"; J; "-ГО КОМПОНЕНТА В"
350 PRINT "          СЕЧЕНИИ X КАНАЛА [М]          ";
360 INPUT G1
370 LET T8=T8+G1
380 NEXT J
390 LET D9=2*T2/(T1+Q5+T8)
392 PRINT
400 PRINT "ВВЕДИТЕ ТИП ВЕНТИЛЯЦИИ "
410 PRINT "          1-ПРИТОЧНАЯ "
420 PRINT "          2-ВЫТЯЖНАЯ          ";
430 INPUT V
440 PRINT "ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО КОМПОНЕНТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ"
450 PRINT "          ПЕРЕД КОРПУСОМ РАССЧИТЫВАЕМОГО КОМПОНЕНТА"
460 PRINT "          ПО ПАРАМЕТРАМ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В КАНАЛЕ";
470 INPUT N7
480 LET C7=0
490 FOR K=1 TO N7
500 PRINT "ВВЕДИТЕ МОЩНОСТЬ"; K; "-ГО КОМПОНЕНТА [ВТ]          ";
510 INPUT C6
520 LET C7=C7+C6

```

```

530 NEXT K
540 IF V=1 THEN GOTO 570
550 LET W4=C7/(1000*G)
560 GOTO580
570 LET W4=(C7+Q6*0.01*Q7)/(1000*G)
580 LET W5=T0+W4
590 PRINT
600 PRINT "ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА";
605 PRINT W5;"ГРАД. С"
610 PRINT
620 PRINT "ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В БЛОКЕ ";
630 INPUT W6
640 PRINT "      КОЭФФИЦИЕНТ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ"
650 PRINT "      ВОЗДУХА [М*М/С] ";
660 INPUT W7
670 PRINT "      ПЛОТНОСТЬ ВОЗДУХА [КГ/М*М*М] ";
680 INPUT W8
690 LET W9=G*Q9/(W7*W8*T2*(W6+1))
700 PRINT
710 PRINT "КРИТЕРИЙ РЕЙНОЛЬДСА РАВЕН ";W9
720 PRINT
730 PRINT "ВВЕДИТЕ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЗДУХА [ВТ/М*К]";
740 INPUT F6
750 PRINT
760 PRINT "ВВЕДИТЕ ТИП КОРПУСА КОМПОНЕНТОВ В СЕЧЕНИИ X КАНАЛА"
770 PRINT "      1-ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ КОРПУСА СО ШТЫРЕВЫМИ "
775 PRINT "      ВЫВОДАМИ"
780 PRINT "      2-ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОРПУСА"
790 PRINT "      3-ПЛОСКИЕ КОРПУСА С ПЛАНАРНЫМИ ВЫВОДАМИ ";
800 INPUT F7
810 IF F7=1 THEN IF W9<=944 THEN LET A5=0.29*F6*SQR(W9)/D9
820 IF F7=1 THEN IF 944<W9 THEN LET A5=0.037*F6*W9^0.8/D9
830 IF F7=2 THEN IF W9<=944 THEN LET A5=0.39*F6*SQR(W9)/D9
840 IF F7=2 THEN IF 944<W9 THEN LET A5=0.051*F6*W9^0.8/D9
850 IF F7=3 THEN IF W9<=2000 THEN LET A5=0.25*F6*SQR(W9)/D9
860 IF F7=3 THEN IF 2000<W9 THEN LET A5=0.026*F6*W9^0.8/D9
880 PRINT
890 PRINT "КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ В ";D;"-ОМ КАНАЛЕ РАВЕН ";A5
900 PRINT
905 LET Z(D)=A5
907 IF D=1 THEN PRINT "      ТЕПЕРЬ ВВЕДИТЕ ДАННЫЕ ДЛЯ 2-ГО КАНАЛА"
909 PRINT
910 NEXT D
2250 PRINT "ВВЕДИТЕ 1-ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ КОМПОНЕНТА"
2260 PRINT "      0-ДЛЯ ОКОНЧАНИЯ РАСЧЕТА ";
2270 INPUT V1
2280 IF V1=0 THEN STOP
2290 PRINT "ВВЕДИТЕ ДАВЛЕНИЕ ВНУТРИ БЛОКА [ПА]"
2344 PRINT "      (от 0.1 ПА до 1.013E5 ПА) ";
2348 INPUT H2
2350 LET R4=SQR(H2/100000)
2360 PRINT "      МОЩНОСТЬ КОМПОНЕНТА [ВТ] ";
2370 INPUT Q4
2380 GOSUB 3140
2390 PRINT "ВВЕДИТЕ РАССТОЯНИЕ ОТ ЦЕНТРА КОМПОНЕНТА ДО"
2400 PRINT "      КРАЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ [М] ";
2410 INPUT Y1
2440 PRINT "ВВЕДИТЕ ТОЛЩИНУ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ [М] ";

```

```

2450 INPUT D2
2460 PRINT "          КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПЛАТЫ [BT/(M*K)];"
2470 INPUT L5
2480 PRINT "ВВЕДИТЕ 1-ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ РАСПОЛОЖЕНИИ КОМПОНЕНТОВ"
2485 PRINT "          В МОДУЛЕ"
2490 PRINT "          2-ПРИ ДВУСТОРОННЕМ РАСПОЛОЖЕНИИ КОМПОНЕНТОВ ";
2500 INPUT R3
2510 PRINT "ВВЕДИТЕ ШАГ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ ПО ОСИ X И Y [M]";
2520 INPUT T4, T5
2530 PRINT "ВВЕДИТЕ 0-ЕСЛИ ВСЕ ДАННЫЕ ЭТАПА ВВЕДЕНЫ БЕЗ ОШИБОК ИЛИ"
2540 PRINT "          1-ЕСЛИ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ТРЕБУЕТСЯ ВВЕСТИ ЗАНОВО";
2550 INPUT Y9
2560 IF Y9=1 GO TO 2290
2570 LET M2=SQR(2*(Z(1)*R4+Z(2))/(D2*L5))
2580 GOSUB 3280
2590 LET U6=Y2*Q4/(W1+1/(W2+1/W3))
2600 LET Y3=J0
2610 LET X=2.7*X
2620 GOSUB 3440
2630 LET Y3=.105*(Y3+4*J0)*M2
2640 LET Y3=1/(M2*(1/T4+1/T5)+.155))
2650 PRINT
2660 PRINT "ПРЕДЕЛЬНЫЙ РАДИУС ВЗАИМНОГО ТЕПЛОВОГО ВЛИЯНИЯ =" ; Y3 ; "M"
2670 PRINT
2680 PRINT "ВВЕДИТЕ ЧИСЛО ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ,"
2690 PRINT "          РАСПОЛОЖЕННЫХ НЕ ДАЛЕЕ ЧЕМ НА" ; Y3 ; "M"
2695 PRINT "          ОТ РАССЧИТЫВАЕМОГО КОМПОНЕНТА, Т.Е."
2700 PRINT "          ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА ЕГО ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ";
2710 INPUT N3
2720 LET U7=0
2730 IF N3=0 GO TO 3080
2740 FOR I=1 TO N3
2750 PRINT "ВВЕДИТЕ РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ЦЕНТРАМИ РАССЧИТЫВАЕМОГО"
2760 PRINT "          КОМПОНЕНТА И " ; I ; " ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИМ";
2765 PRINT "КОМПОНЕНТОМ [M]";
2770 INPUT R7
2780 IF R7<Y3 GO TO 2820
2785 PRINT
2790 PRINT I ; " КОМПОНЕНТ НЕ ОКАЗЫВАЕТ ВЛИЯНИЯ НА ТЕПЛОВОЙ"
2800 PRINT "РЕЖИМ РАССЧИТЫВАЕМОГО КОМПОНЕНТА"
2810 GOTO 3070
2820 IF I<>1 GO TO 2850
2830 PRINT "СЛЕДУЮЩИЕ ЗАПРОСЫ ОТНОСЯТСЯ К ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕМУ"
2840 PRINT "КОМПОНЕНТУ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ"
2845 PRINT "РАССЧИТЫВАЕМОГО КОМПОНЕНТА"
2850 PRINT "ВВЕДИТЕ МОЩНОСТЬ, РАССЕИВАЕМУЮ КОМПОНЕНТОМ [BT] ";
2860 INPUT Q4
2870 PRINT "          РАССТОЯНИЕ ОТ ЦЕНТРА КОМПОНЕНТА ДО"
2880 PRINT "          КРАЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ [M]";
2890 INPUT Y1
2900 PRINT "ОТЛИЧАЮТСЯ ЛИ РАЗМЕРЫ ИЛИ СПОСОБ УСТАНОВКИ"
2910 PRINT "КОМПОНЕНТА N"; I ; " ОТ РАЗМЕРОВ ИЛИ СПОСОБА УСТАНОВКИ ";
2920 IF I=1 THEN PRINT "РАССЧИТЫВАЕМОГО ";
2930 PRINT "КОМПОНЕНТА N"; I-1
2940 PRINT "(1-ДА / 0-НЕТ)";
2950 INPUT I3
2960 IF I3=1 THEN GOSUB 3140
3010 GOSUB 3280
3020 LET R2=J0

```

```

3030
3040 GOSUB 3440
3050 LET R5=Q4*(J0/R2)/(W1*(1+(W2+1/W1)*W3))
3060 LET U7=U7+R5
3070 NEXT I
3072 PRINT "ВВЕДИТЕ СРЕДНЕОБЪЕМНЫЙ ПЕРЕГРЕВ ВОЗДУХА НАГРЕТОМ"
3074 PRINT "        ЗОНЫ БЛОКА [ГРАД. С]"
3076 INPUT U5
3080 LET U8=U5+U6+U7
3086 PRINT
3090 PRINT "ПЕРЕГРЕВ КОРПУСА РАССЧИТЫВАЕМОГО КОМПОНЕНТА ="
3096 PRINT U8;" ГРАД. С"
3100 LET T6=T0+U8
3105 PRINT
3110 PRINT "ТЕМПЕРАТУРА КОРПУСА КОМПОНЕНТА =" ;T6;" ГРАД. С"
3120 PRINT
3130 GOTO 2250
3140 PRINT "ВВЕДИТЕ СУММАРНУЮ ПЛОЩАДЬ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОНЕНТА И"
3150 PRINT "        ЕГО РАДИАТОРА [М*М]"
3160 INPUT F4
3170 PRINT "ВВЕДИТЕ ПЛОЩАДЬ ОСНОВАНИЯ КОМПОНЕНТА [М*М]"
3180 INPUT F5
3190 PRINT "        ТОЛЩИНУ ЗАЗОРА МЕЖДУ ОСНОВАНИЕМ КОМПОНЕНТА"
3200 PRINT "        И ПЕЧАТНОЙ ПЛАТОЙ [М]"
3210 INPUT D3
3220 LET L6=1
3230 IF D3=0 GO TO 3270
3240 PRINT "ВВЕДИТЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МАТЕРИАЛА, ЗАПОЛНЯЮЩЕГО"
3250 PRINT "        ЭТОТ ЗАЗОР [Вт/(м*К)]"
3260 INPUT L6
3270 RETURN
3280 LET K7=23.54/(4.317+.434294*LOG(F4))
3290 LET R6=SQR(F5/3.14159)
3300 LET Y2=1
3310 IF Y1<3*R6 THEN LET Y2=1.14
3320 LET B2=0
3330 LET M3=1
3340 IF R3=2 GO TO 3370
3350 LET B2=(4.5*R4+4)*3.14159*R6*R6
3360 LET M3=2
3370 LET X=M2*R6
3380 GOSUB 3440
3390 GOSUB 3560
3400 LET W1=((K7-4)*R4+4)*(F4-F5)
3410 LET W2=D3/(L6*3.14159*R6*R6)
3420 LET W3=B2+M3*3.14159*R6*L5+D2*M2*J1/J0
3430 RETURN
3440 IF X>2 GO TO 3520
3450 LET T=X*X/14.0628
3460 LET A=((4.58130E-03*T+.0360769)*T+.265973)*T+1.20675)*T
3470 LET A=((A+3.08994)*T+3.51582)*T+1
3480 LET B=X*X/4
3490 LET J0=((7.40000E-08*B+1.07500E-04)*B+2.82698E-03)*B+.0348859)*B
3500 LET J0=((J0+.230698)*B+.422784)*B-.577218-A*LOG(X/2)
3510 RETURN
3520 LET C=2/X
3530 LET J0=((5.32080E-04*C-2.51540E-03)*C+5.87872E-03)*C-.0108245)*C
3540 LET J0=((J0+.0218957)*C-.0783236)*C+1.25331)/(SQR(X)*EXP(X))
3550 RETURN

```

```
3500 IF X>2 GO TO 3640
3570 LET T=X*X/14.0625
3580 LET A=(((3.24110E-04*T+3.01532E-03)*T+.0266873)*T+.150849)*T
3590 LET A=(((A+.614989)*T+.878906)*T+.5)*X
3600 LET B=X*X/4
3610 LET J1=((-4.88600E-05*B-1.10404E-03)*B-.019194)*B-.181569)*B
3620 LET J1=(((J1-.672766)*B+.154431)*B+1+A*X*LOG(X/2))/X
3630 RETURN
3640 LET C=2/K
3650 LET J1=((-6.82450E-04*C+3.25614E-04)*C-7.80363E-03)*C+.0150427)*C
3660 LET J1=(((J1-.0365562)*C+.234986)*C+1.25331)/(SQR(X)*EXP(X))
3670 RETURN
3680 STOP
3690 END
```

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Общие сведения по применению программ в конструкторских расчетах РЭС и ЭВС	3
Функциональное назначение	3
Входные данные	6
Описание логической структуры	8
Контрольный пример	8
Используемые технические средства	11
Литература	13
Приложение	14

Редакция заказной литературы

Павел Николаевич Горюнов

Эмилия Николаевна Камышная

Виктор Васильевич Маркелов

Программное обеспечение конструкторских расчетов
РЭС и ЭВС

Заведующая редакцией Н.Г.Ковалевская

Редактор Е.К.Кошелера

Корректор О.В.Калашникова

Подписано в печать 11.02.93 Формат 60x84/16. Бумага тип. № 2.

Печ. л. 1,5. Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,29. Тираж 500 экз.

Изд. № 29. Заказ 309 С 237

Издательство МГТУ, типография МГТУ.

107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.

