

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ  
ТОНКОПЛЕНЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

КУЙБЫШЕВ 1988

Министерство высшего и среднего специального образования  
Р С С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный  
институт имени академика С.П.Королева

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ  
КОНДЕНСАТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

У т в е р ж д е н о  
редакционно-издательским  
советом института  
в качестве  
методических указаний  
к лабораторной работе №42  
для студентов

Куйбышев 1988

УДК 621.382

В методических указаниях рассматриваются конструкции тонкопленочных конденсаторов, приведены блок-схема их расчета на ЭВМ и методика работы с программой. Студентам предлагается рассчитать и сконструировать 4 типа тонкопленочных конденсаторов, исследовать зависимость их конструктивных характеристик от параметров техпроцесса изготовления.

Рекомендуются для студентов специальности 0705.

Составитель: А.И.М е р к у л о в

Рецензенты: З е л е н с к и й А.В., К у л я к о в М.А.

Ц е л ь р а б о т ы: изучение конструкций и методов расчета тонкопленочных конденсаторов (ТПК) с применением ЭВМ.

ЗАДАНИЯ:

1. Изучить методику расчета ТПК вероятностным методом (домашняя подготовка) /1,2/.
2. Изучить блок-схему расчета комплекса ТПК различной конструкции с помощью ЭВМ.
3. Изучить методику работы с программой расчета ТПК.
4. Рассчитать конструктивные параметры комплекса ТПК.
5. Исследовать зависимость конструктивных характеристик ТПК от технологических ограничений.

#### 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Тонкопленочные конденсаторы являются распространенными элементами тонкопленочных интегральных микросхем. ТПК получают нанесением на диэлектрическую подложку тонких проводящих и диэлектрических пленок различной конфигурации и толщины. ТПК с одним слоем диэлектрика называют однослойными, с двумя и более многослойными. Для получения малых значений емкости (доли - единицы пФ) применяют гребенчатые ТПК. Конструкции ТПК должны учитывать особенности топологической структуры микросхемы, электрические, технологические, эксплуатационные требования и ограничения, характеристики используемых материалов и т.д.

С точки зрения простоты расчета, изготовления и удовлетворения указанным требованиям наибольшее распространение получили следующие конструктивные формы тонкопленочных конденсаторов (рис.1).

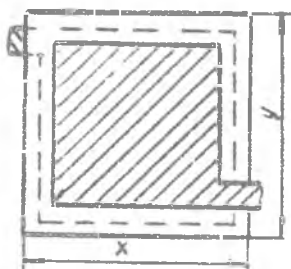
Исходными данными для расчета ТПК являются:

а) электрические:

$C$  - емкость ТПК;

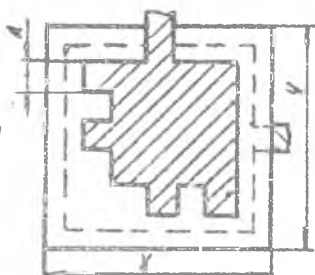
$U$  - рабочее напряжение на ТПК;

ТИП-1



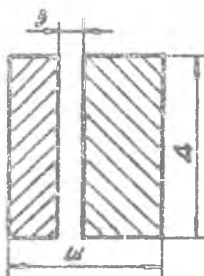
$x$  - длина ТПК  
 $y$  - ширина ТПК  
 $S$  - площадь ТПК

ТИП-2



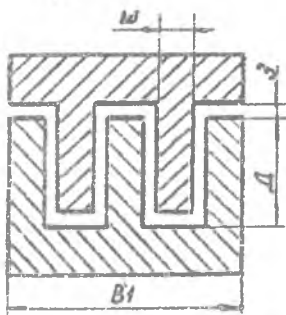
$x$  - длина ТПК  
 $y$  - ширина ТПК  
 $S$  - площадь ТПК  
 $A$  - размер подстр. секции  
 $\Pi$  - площадь подстр. секции  
 $Z$  - число подстр. секций

ТИП-3



$Д$  - длина ТПК  
 $ш$  - ширина ТПК  
 $z$  - зазор ТПК

ТИП-4



$Д$  - длина звена гребенки  
 $В1$  - размер ТПК  
 $Z$  - число звеньев гребенки  
 $ш$  - ширина звена гребенки  
 $з$  - зазор ТПК

Р и с. 1. Типы рассчитываемых конденсаторов

- б) технологические:
- $\delta C_{\text{ном}}$  - допуск на номинал емкости ТПК,
  - $P$  - вероятность изготовления годного ТПК,
  - $\bar{C}_A$  - относительное среднеквадратическое отклонение величины удельной емкости ТПК в процессе изготовления,
  - $S_A$  - среднеквадратическое отклонение размеров верхней обкладки ТПК в процессе изготовления,
  - $Z$  - коэффициент корреляции между отклонениями размеров верхней обкладки ТПК;
- в) эксплуатационные:
- $t$  - температура окружающей среды,
  - $T$  - время эксплуатации ТПК,
  - $\alpha_C$  - температурный коэффициент емкости ТПК,
  - $\bar{\delta} C_{\text{ст}}$  - относительное изменение емкости ТПК в процессе старения.

## 2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ БЛОК-СХЕМЫ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ТПК И САМОЙ ПРОГРАММЫ

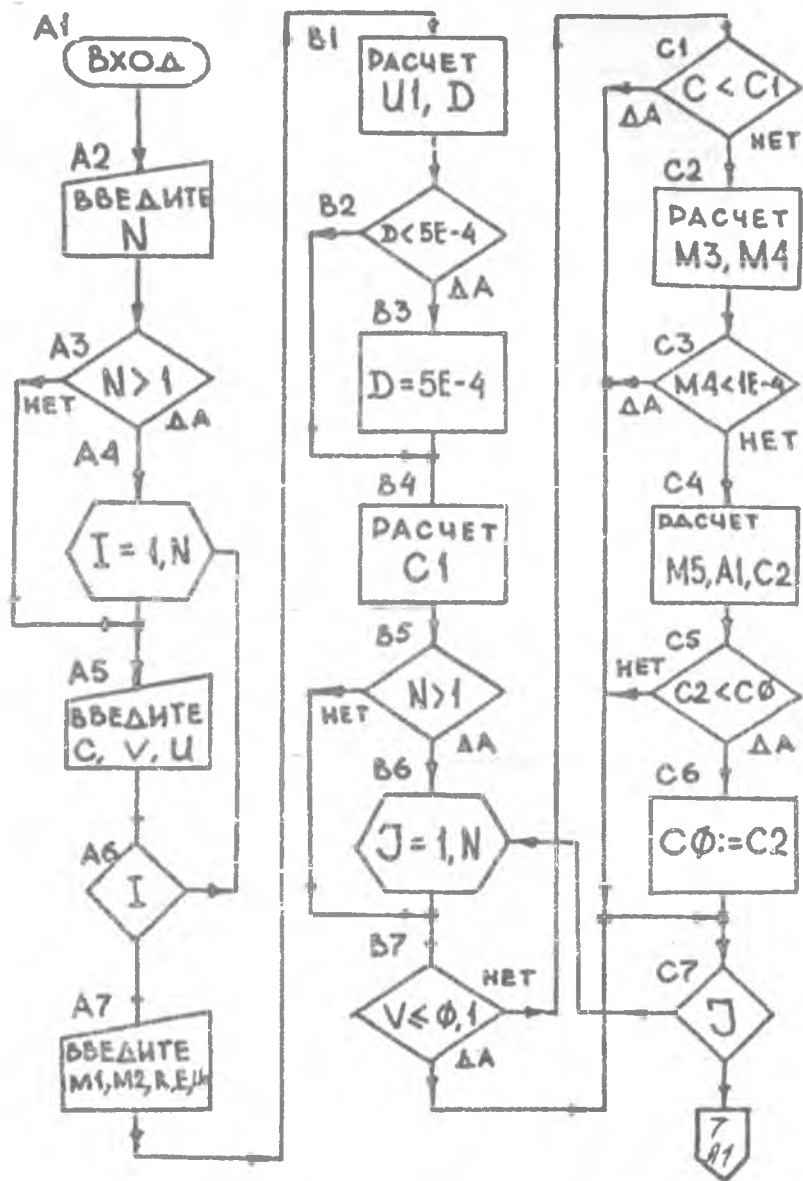
Блок-схема программы расчета приведена на рис.2. Программа позволяет рассчитывать за один цикл ее работы до 40 ТПК. В зависимости от величины емкости, допуска и габаритных размеров ТПК ЭВМ выбирает один из четырех возможных типов ТПК (рис.1).

В программе проектирования ТПК реализованы следующие условия:

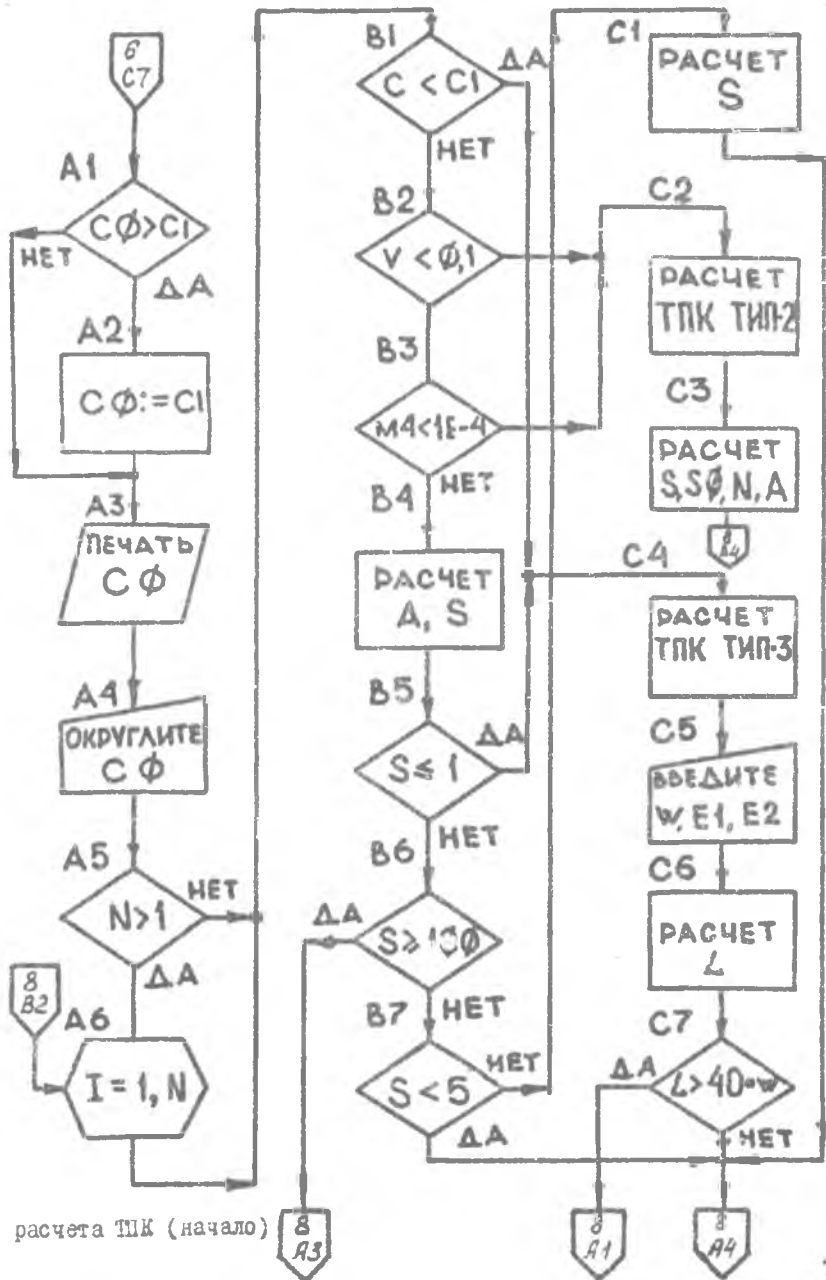
1. Если при расчете (из условия обеспечения рабочего напряжения или требуемой точности) толщина  $d$  диэлектрика получается меньше 0,0005 мм (5000 Å), то принимаем  $d = 0,0005$  мм.

2. Если площадь однослойного ТПК получается меньше 1 мм<sup>2</sup>, он проектируется в виде компланарной конструкции (тип 3 или 4).

3. Если допуск на номинал ТПК меньше 1% или дисперсия площади ТПК  $\bar{C}_A^2 < 1 \cdot 10^{-4}$  проектируется ТПК с подгонкой (тип 2).

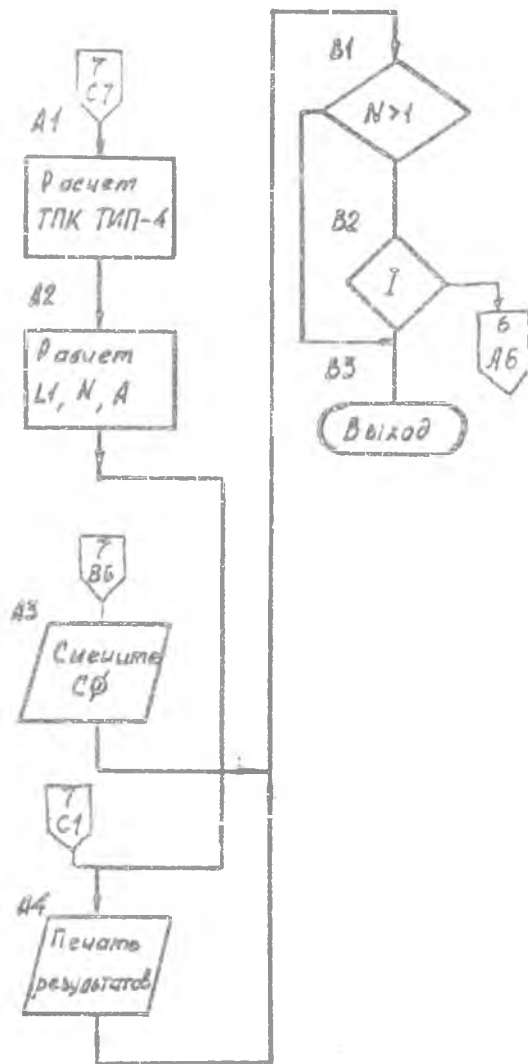


Р и с. 2. Блок-схема программы



расчета ТПК (начало)





Р и с. 2. Блок-схема программы расчета ТПК (окончание)

4. Если площадь однослойного ТПЖ оказывается больше  $1 \text{ см}^2$ , печатается (выводится на экран дисплея) сообщение "СМЕНИТЕ С0".

5. Если у компланарного ТПЖ в результате расчета длина в  $40$  и более раз превышает величину зазора, то он выполняется в виде гребенки.

Программа расчета ТПЖ написана на алгоритмическом языке БЭЭСЖК и записана на магнитную ленту. При написании программы использованы следующие идентификаторы (расшифровка дана в соответствии с обозначениями, приведенными в /2/):

- $N2$  - количество <sup>тип 1</sup> рассчитываемых ТПЖ ;  
 $C(I)$  - номинал  $i$ -го ТПЖ ;  
 $U(I)$  - рабочее напряжение  $i$ -го ТПЖ ;  
 $P1$  - вероятность выхода годного ТПЖ ;  
 $M1$  -  $C_A$  ,  $\mu\text{м}$  ;  
 $M2$  -  $C_{Co}$  , % ;  
 $R$  -  $Z$  - коэффициент корреляции ;  
 $UD$  -  $E_{пр.}$  , В/см ;  
 $E$  -  $\epsilon$  для однослойного ТПЖ ;  
 $C$  -  $C_{\text{табл.}}$  (рекомендуемые табличные значения) ;  
 $U1$  -  $U(I)_{\text{макс}}$  ;  
 $D$  -  $d$  , мм ;  
 $C1$  -  $C_0 = \min\{C_0', C_0''\}$  ;  
 $Z$  - аргумент интеграла вероятностей ;  
 $M3$  -  $\tilde{C}_S$  ;  
 $M4$  -  $\tilde{C}_S^2$  ;  
 $M5$  -  $\tilde{C}_S$  ;  
 $A1$  -  $A$  - размер ТПЖ (из условия обеспечения точности) ;  
 $C2$  -  $C_0'''$  (  $C_0$  , обеспечивающее заданную точность) ;  
 $C0$  -  $C_0$  - расчетное (окончательное) значение  $C_0$  ;

$S(I)$  - площадь  $i$ -го ТПК (верхней обкладки);

$A(I)$  - размеры  $i$ -го ТПК (верхней обкладки);

### Табл. 2

$C3$  -  $C_{\max \text{ дел}}$  ;

$C4$  -  $C_{\min \text{ дел}}$  ;

$S$  -  $S = C/C_0$  ;

$M2$  -  $\tilde{C}_0 = 2C_A/\sqrt{S}$  ;

$M3$  -  $\tilde{C}_0 = \sqrt{\tilde{C}_0^2 + \tilde{C}_S^2}$  ;

$N$  -  $n$  - число подгоночных секций ;

$S1$  -  $S_{\Sigma \text{ макс}}$  ;

$S2$  -  $S_{\Sigma \text{ мин}}$  ;

$A(I)$  -  $A_{\text{осн}}$  ;

$S(I)$  -  $S_{\text{осн}}$  ;

$S3$  -  $S_{\Sigma \text{ обкл}}$  ;

$S0$  -  $S_{\text{секции}}$  ;

### Табл. 3,4

$W$  -  $j$  - величина зазора компланарного ТПК ;

$E1$  -  $\epsilon_0$  - диэлектрическая проницаемость подложки ;

$E2$  -  $\epsilon_n$  - диэлектрическая проницаемость защитного слоя ;

$L$  -  $l$  - длина совместной линии компланарного ТПК ;

$L1$  -  $A$  - длина секции (пальца) гребенчатого ТПК ;

$N$  - число секций гребенчатого ТПК.

## 3. РАБОТА С ПРОГРАММОЙ РАСЧЕТА ТПК

Перед началом работы с программой необходимо загрузить интерпретатор БЕЗИКА (см. приложение 1). Затем нужно вставить в накопитель магнитной ленты кассету с программой и набрать на клавиатуре дисплея оператор  $LOAD'TPK'$ . После нажатия клавиши "ПС" БЭИ приступит к считыванию программы с магнитной ленты.

Загрузив программу в СЗУ, машина остановится. Далее на клавиатуре дисплея необходимо набрать оператор запуска *RUN* и нажать клавишу "ПС". ЭВМ приступит к выполнению программы и остановится, ожидая ввод исходной информации. Исходные данные вводятся после появления на экране дисплея соответствующих сервисных надписей:

КОЛИЧЕСТВО КОНДЕНСАТОРОВ В СХЕМЕ? - вводится N 2.

На запрос с дисплея данных ввода нужно вводить числовые значения этих данных в указанных единицах, нажимая затем "ПС". Номинал, допуск и рабочее напряжение вводятся для каждого ТПК в отдельности, остальные данные - сразу для всех ТПК.

Когда с экрана будет предложено набрать номер выбранного материала диэлектрика, необходимо по параметрам, распечатанным на экране, выбрать подходящий диэлектрик, набрать его номер, и "ПС". При этом данные ( $\epsilon_{пл}$  и  $\epsilon$ ) запишутся в память ЭВМ и в дальнейшем будут использованы в расчетах. Значение  $C_0$  ( $C$  - на экране) приводится для удобства выбора материала диэлектрика. Затем (через 10-12 секунд) на экране будет распечатано расчетное значение удельной емкости и предложение его округлить. Значение  $C_0$  необходимо округлить в меньшую сторону и ввести в ЭВМ, нажав после этого клавишу "ПС".

Далее начнется расчет первого ТПК и через 3-5 секунд расчетные данные будут выведены на экран с сообщением о типе ТПК. К расчету очередного ТПК ЭВМ приступит после нажатия клавиши "ПС".

В программе "ТПК" предусмотрена возможность смены материала и замены некоторых параметров.

В процессе работы с программой возможно сообщение:

СМЕНИТЕ  $S_0$  ДЛЯ КОНДЕНСАТОРА  $C(i)$ .

Это означает, что площадь ТПК больше 1 см<sup>2</sup> и на это следует обратить внимание. Окончательное решение о необходимости смены  $C_0$  принимает конструктор.

#### 4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В качестве оборудования при выполнении работы используется серийная миниЭВМ "Электроника ДЗ-23".

#### 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить правила техники безопасности при работе с ЭВМ.
2. Изучить правила пользования ЭВМ.
3. Получить у преподавателя задание на выполнение работы.
4. Изучить блок-схему программы расчета ТК и методику работы с программой.
5. Ввести в память ЭВМ программу расчета ТК.
6. Рассчитать конструктивные параметры ТК для трех различных материалов.
7. Рассчитать размеры конденсатора для нескольких значений " $P_{вер}$ " и построить график зависимости  $\xi = f(P)$ .
8. Поработать с программой в режиме изменения данных.
9. Вычертить эскизы всех ТК, определить суммарную площадь ТК.

#### 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Краткая характеристика типов рассчитываемых ТК.
3. Блок-схема программы расчета ТК.
4. Расчетные данные.
5. Эскизы ТК.
6. Выводы.

## Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение различных типов ТТК.
2. Объяснить методику расчета ТТК.
3. Объяснить методику расчета ТТК с подгонкой.
4. Назвать преимущества и недостатки различных типов ТТК.
5. Объяснить работу программы расчета ТТК по блок-схеме.
6. Перечислить и объяснить условия и ограничения, реализованные в программе расчета ТТК.
7. Рассказать правила работы с ЭВМ по программе "ТТК".
8. Рассказать, как влияют на конструктивные параметры ТТК величины:  $C_{\Sigma}$ ,  $C_{\Sigma 1}$ ,  $C_{\Sigma 2}$ ,  $\rho$  и др.
9. Назвать правила техники безопасности при работе с ЭВМ.

## Библиографический список

1. Ермолаев Ю.П., Пономарев М.И., Крюков В.Г. Конструкции и технология микросхем. -М.:Сов.радио, 1980.
2. Конструирование и расчет пассивных пленочных элементов ГИС и микросборок.КуАИ, МИТРА, 1986. Сост. Дмитриев В.Д., Меркулов А.И., Калугина Т.С.
3. Методические указания по применению алгоритмического языка БАЗИМ для миниЭВМ "Электроника ДЗ-28" в учебном процессе. Кудышев, 1985.

## Приложение I

### Последовательность операций пользователя при загрузке интерпретатора БЭЙСИКА

1. Включить в сеть следующие устройства в указанном порядке:

- а) ППУ;
- б) дисплей;
- в) ЭВМ.

2. Вставить в ИМЛ кассету с комплексной системой и перемотать ленту в начало кассеты путем поочередного нажатия клавиш "С", "80", "40" и "0" на клавиатуре ЭВМ.

3. На клавиатуре ЭВМ нажать клавишу "СЛ".

4. Если после загрузки интерпретатора БЭЙСИКА в ОЗУ начинают мерцать индикаторы ЭВМ, следует нажать клавишу "С", затем - "СЛ" (машина приступит к повторной загрузке интерпретатора БЭЙСИКА в ОЗУ). В противном случае необходимо нажать клавиши "КП" на клавиатуре ЭВМ. На индикаторах ЭВМ должно появиться число 132098.

5. Поочередно нажать клавиши "С" и "S" на клавиатуре ЭВМ. После нажатия этих клавиш на экране дисплея появится надпись:

БЭЙСИК (ВАРИАНТ 3)

СНИМИТЕ КАСSETУ.

6. После появления этой надписи на клавиатуре дисплея следует дважды нажать клавишу "ПС". На экране дисплея появится сообщение:

НОМЕРА ВНЕШНИХ ПОДПРОГРАММ?

ГОТОВ:

7. Данная надпись означает готовность машины к работе.

Составитель Анатолий Игнатьевич М е р к у л о в

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТОНКОПЛЕЧНЫХ  
КОНДЕНСАТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ**

Редактор О.Д.Н е н а ш е в а  
Техн. редактор Н.М.К а л е н я к  
Корректор О.М.И е м а л е в а

Подписано в печать 29.08.88 г. формат 60x84 1/16.  
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.  
Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,9. Т. 200 экз.  
Заказ 504 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Уч.-в оперативной полиграфии КуАИ, г. Куйбышев,  
ул. Ульяновская, 18.