

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ  
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

*Методические указания*

САМАРА 2002

Составитель А.И. Меркулов

УДК 621.382

**Исследование влияния электрических, эксплуатационных и технологических характеристик на конструктивные параметры тонкопленочных резисторов: Метод. указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. А.И. Меркулов. Самара, 2002. 12 с.**

В методических указаниях рассмотрены конструкции тонкопленочных резисторов, приведены блок-схема и программа их расчета на ЭВМ, методика работы с программой. Студентам предлагается рассчитать и сконструировать шесть типов тонкопленочных резисторов, определить зависимость их конструктивных форм от электрических, эксплуатационных и технологических характеристик, найти оптимальные размеры.

Рекомендуются для студентов специальности 20.08.00. Подготовлены на кафедре микроэлектроники и технологии радиоэлектронной аппаратуры.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва

Рецензенты: А.Н. Комов, Г.Ф. Краснощкова

Цель работы: изучение конструкций тонкопленочных резисторов (ТПР), методов расчета, исследование связей между конструктивными, электрическими, эксплуатационными и технологическими характеристиками.

## ЗАДАНИЯ:

1. Изучить методику расчета ТПР вероятностным методом [ 1, 2 ] (домашняя подготовка).
2. Изучить блок-схему расчета комплекса ТПР с применением ЭВМ.
3. Изучить методику работы с программой расчета ТПР.
4. Рассчитать конструктивные параметры комплекса ТПР.
5. Исследовать зависимость конструктивных форм и размеров ТПР от технологических параметров процесса их изготовления, электрических и эксплуатационных характеристик, а также характеристик используемых материалов.

### 1. Основные положения

Резисторы являются наиболее распространенными элементами тонкопленочных интегральных микросхем. Резистивные элементы получают нанесением на диэлектрическую подложку тонких резистивных пленок различной конфигурации и проводящих пленок, имеющих с концами резистивных пленок некоторую зону перекрытия, обеспечивающую контакт.

Конструкции тонкопленочных резисторов 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 резисторов (см. рис. 1).

Исходными данными для расчета ТПР являются:

а) электрические:

$R$  – сопротивление ТПР;

$P$  – мощность, рассеиваемая ТПР;

$\delta_{R_{доп}}$  -- допуск на сопротивление ТПР;

б) технологические:

$\Phi(z)$  – вероятность изготовления годного ТПР;

$\sigma_b$  – среднеквадратическое отклонение ширины ТПР;

$\sigma_l$  – среднеквадратическое отклонение длины ТПР;

$R_{\square}$  -- удельное поверхностное сопротивление резистивной пленки;

$\sigma_{R_{\square}}$  -- относительное среднеквадратическое отклонение величины  $R_{\square}$  в процессе изготовления;

- $\delta_{\text{Рк}}$  – относительная погрешность сопротивления ТПР, обусловленная образованием переходных сопротивлений контактов;
- в) эксплуатационные:
- $t$  – температура окружающей ТПР среды;
- $T$  – время эксплуатации ТПР;
- $f_{\text{гп}}$  – верхняя (граничная) частота, до которой можно не учитывать влияние паразитных параметров (ёмкости и индуктивности);
- г) характеристики используемых материалов:
- $P_0$  – допустимая удельная мощность рассеяния резистивной пленки;
- $\alpha_{\text{Рт}}$  – температурный коэффициент сопротивления ТПР;
- $\delta_{\text{Рст}}$  – относительное изменение сопротивления ТПР в процессе старения.

## 2. Краткое описание блок-схемы расчета ТПР и самой программы

Упрощённая блок-схема программы расчета ТПР приведена на рис.2<sup>1</sup>. Программа позволяет рассчитывать за один цикл её работы до 40 ТПР. В зависимости от номинала резистора, допуска на сопротивление, размеров ТПР ЭВМ выбирает один из шести возможных типов ТПР (рис. 1).

В программе проектирования ТПР реализованы следующие условия:

1. Минимальная допустимая ширина ТПР  $b$  из технологических соображений принята равной 0.1 мм для метода фотолитографии и 0.2 мм – для метода свободной маски.

2. Ширина ТПР выбирается по формуле  $b = \max\{b', b'', b'''\}$ .

3. Если длина ТПР  $l > 10$  мм, а коэффициент формы  $K_{\text{ф}} < 5$ , резистор выполняется изогнутым в виде “меандра”.

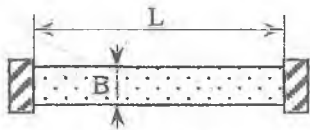
4. Если при определении суженного (технологического) допуска получится число меньше нуля или нуля – на экран ПЭВМ выводится соответствующая информация и сообщение “смените материал”.

5. Если при определении ширины ТПР из условия обеспечения заданной точности по формуле (11) из [2] в знаменателе подкоренного выражения получится “нуль” или отрицательное число, программа переходит к расчету ТПР со ступенчатой подгонкой, при этом ширина ТПР определяется из соотношения  $b = \max\{b', b''\}$ .

6. Если при проектировании ТПР со ступенчатой подгонкой расчетная длина регулируемой секции  $l_p < 0,2$  мм, программа переходит к проектированию ТПР с плавной подгонкой (тип 4).

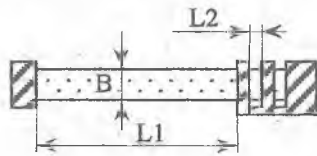
7. Если при проектировании ТПР с плавной подгонкой получится соотношение  $K_{\text{ф}} < 10$ , программа переходит к проектированию ТПР типа 5.

<sup>1</sup> Обозначения на блок-схеме соответствуют обозначениям параметров в методических указаниях [2].



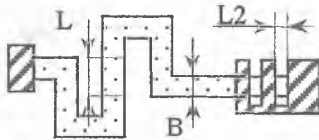
ТИП - 1

$B$  – ширина ТПР  
 $L$  – длина ТПР



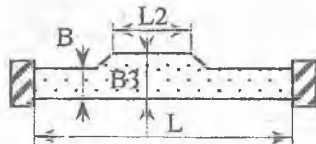
ТИП - 2

$B$  – ширина ТПР  
 $L1$  – длина нерег. участка  
 $L2$  – длина рег. секции  
 $N$  – число рег. секций



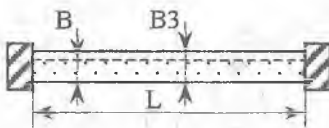
ТИП - 3

$B$  – ширина ТПР  
 $L$  – длина прямолинейного участка  
 $L2$  – длина рег. секции  
 $N$  – число рег. секций  
 $N5$  – число П – образных перегибов



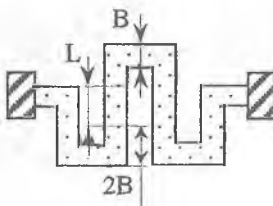
ТИП - 4

$B$  – ширина ТПР  
 $L$  – длина ТПР  
 $B3$  – ширина рег. участка  
 $L2$  – длина рег. участка



ТИП - 5

$B$  – ширина ТПР без рег. участка  
 $L$  – длина ТПР  
 $B3$  – общая ширина ТПР



ТИП - 6

$B$  – ширина ТПР  
 $L$  – длина прямолинейного участка  
 $N$  – число П – образных перегибов

Рис. 1. Конструкции тонкопленочных резисторов

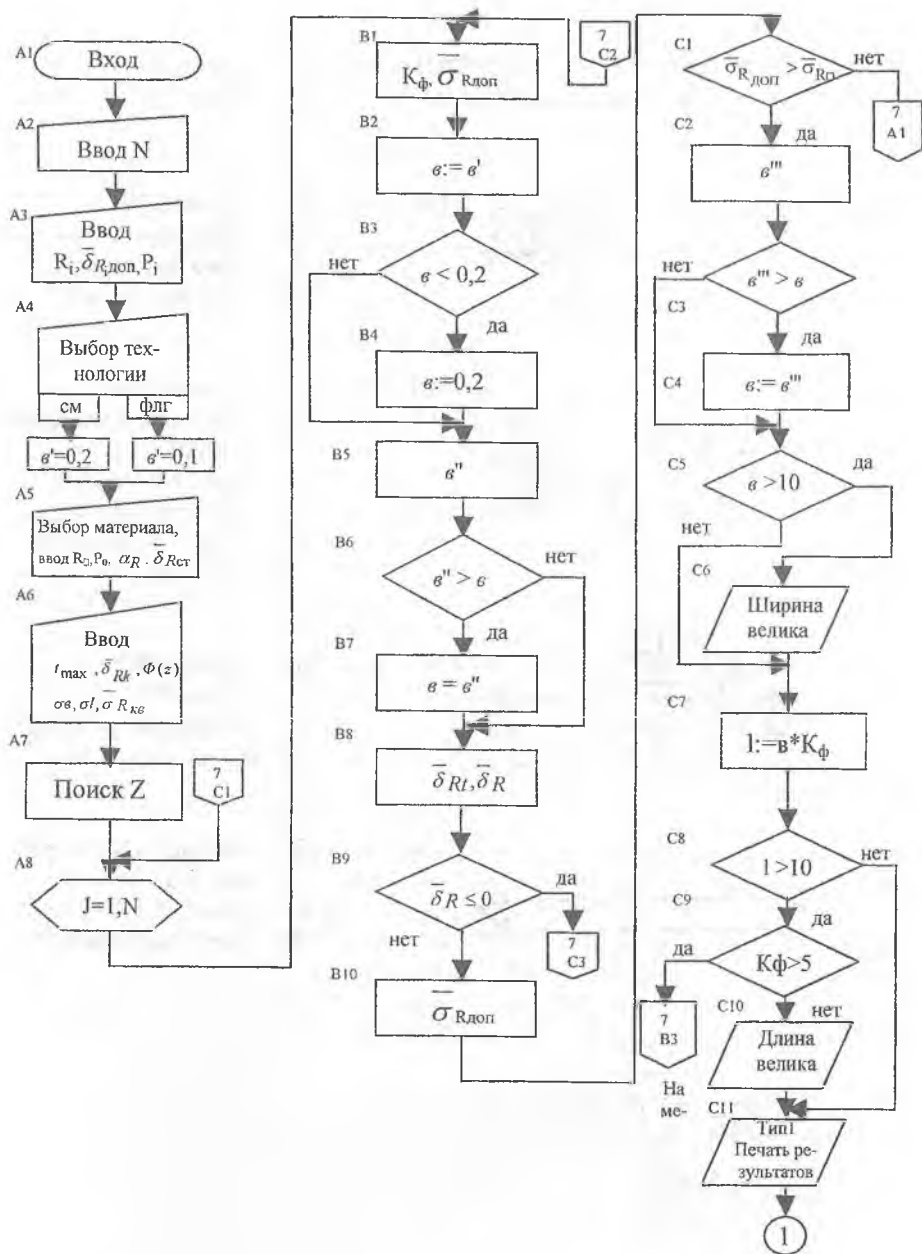
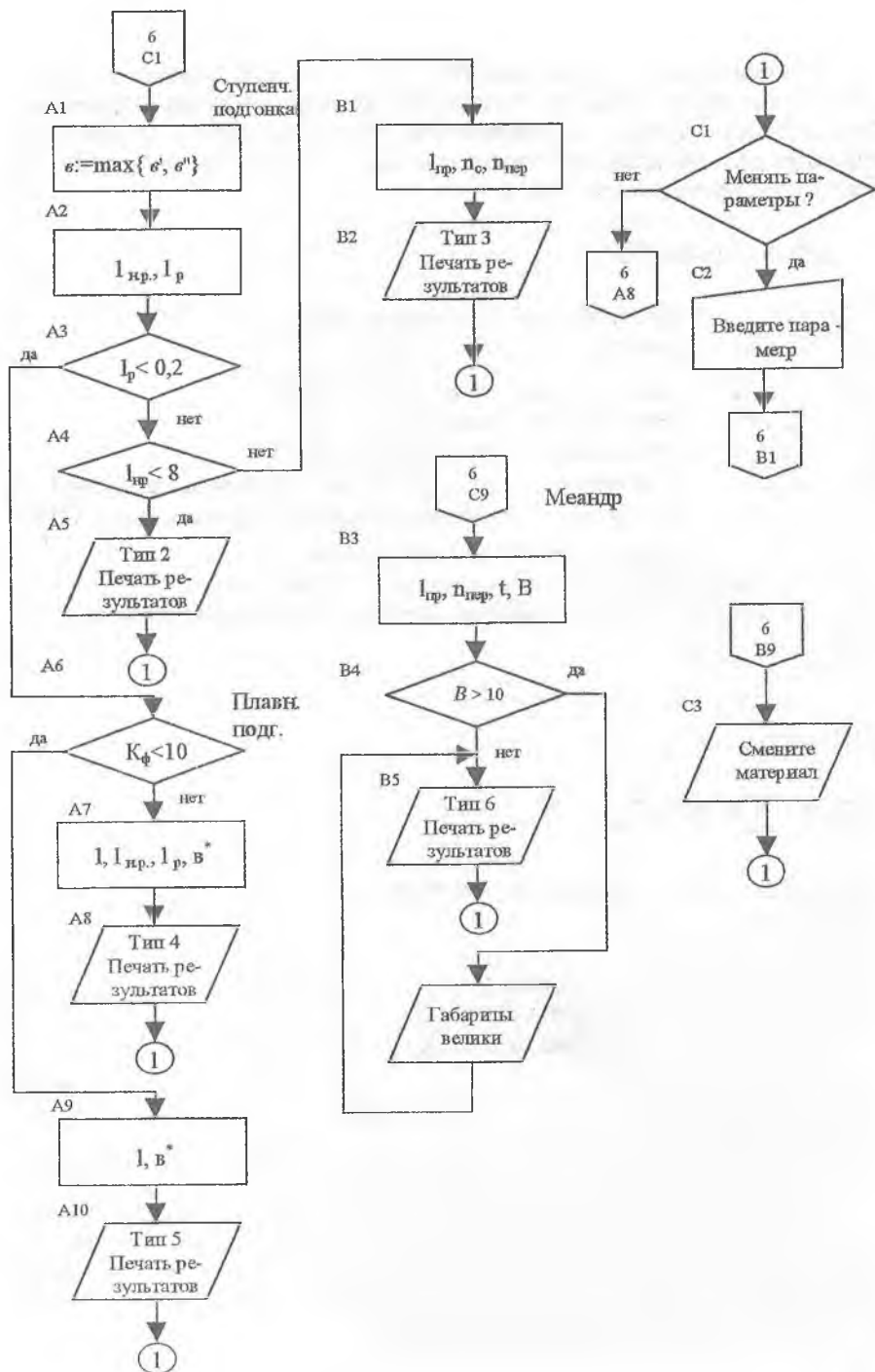


Рис.2. Блок – схема программы расчета ТТР



Программа расчета комплекса ТПР написана в двух вариантах: на алгоритмических языках БЕЙСИК и ПАСКАЛЬ с разным сервисным обеспечением. При написании программы использованы следующие идентификаторы (расшифровка дана для программы, написанной на БЕЙСИКЕ в соответствии с обозначениями, приведенными в [2]):

Для всех типов ТПР

- $N1 - N_i$ , количество рассчитываемых ТПР;  
 $R(I) - R_i, \text{ Ом}$  – номинал  $i$ -го ТПР;  
 $V(I) - \delta_{Ri}, \%$  – допуск на сопротивление  $i$ -го ТПР;  
 $P(I) - P_i, \text{ Вт}$  – мощность, рассеиваемая ТПР;  
 $P1 - \Phi(z)$  – вероятность изготовления годного ТПР;  
 $M1 - \sigma_b, \text{ мм}$  – абсолютное среднее квадратическое отклонение ширины ТПР;  
 $M2 - \sigma_l, \text{ мм}$  – абсолютное среднее квадратическое отклонение длины ТПР;  
 $Z - Z$ , аргумент интеграла вероятностей;  
 $R0 - R_{\square}, \text{ Ом/}\square$  – сопротивление квадрата резистивной пленки;  
 $P0 - P_0, \text{ Вт/см}^2$  – удельная мощность рассеивания резистивной пленки;

$$S0 - \sigma_{Ri} = \frac{\delta_{Ri \text{ доп}}}{\sqrt{2} * Z};$$

$$M0(I) - \sigma_{\text{Кф}}^2 = \sigma_{Ri}^2 - \sigma_{R_{\square}}^2;$$

$$RS(I) - \sum 1/R_i * \sigma_{\text{Кф}i}^{-2};$$

$R3 - R_{\square \text{ опт}}$ , Ом/□ – оптимальное значение  $R_{\square}$ ;

$R1 - R_{\square \text{ мин}}$ , Ом/□;

$R2 - R_{\square \text{ макс}}$ , Ом/□;

$F - K_{\text{ф}}$ , коэффициент формы;

$B1 - b^+$ , мм – ширина ТПР (из мощности);

$B2 - b^+$ , мм – ширина ТПР (из точности);

$$S1 - \sigma_{\text{Кф}i} = \sqrt{\sigma_{Ri}^{-2} - \sigma_{R_{\square}}^{-2}};$$

$L - l, \text{ мм}$  – длина резистора.

Для ТПР типа 2

$$S0 - \sigma_{Ri};$$

$N1 - n$  – число секций подгонки;

$L1 - l_{\text{н.р.}}$ , мм – длина нерегулируемой части ТПР;



$L - l_{\Sigma}$ , мм — общая длина ТПР;  
 $L2 - l_{\Sigma}$ , мм — длина секции подгонки.

#### Для ТПР типов 3,6

$A - a$ , мм — зазор между резистивными полосками;  
 $T - t$ , мм — шаг меандра;  
 $N1 - n$  — число звеньев меандра;  
 $L - l_{\text{прям.}}$ , мм — длина прямолинейного участка;  
 $B3 - B$ , мм — габаритный размер меандра;  
 $L2 - l_{\Sigma}$ , мм — длина секции подгонки;  
 $N - N$  — число секций подгонки.

#### Для ТПР типа 4

$L - l$ , мм — длина ТПР;  
 $N - R_{\text{макс.возм.}} / R_{\text{макс.доп.}}$ ;  
 $N1 - R_{\text{ТПР}} / R_{\text{макс.}}$ ;  
 $L2 - l_p$  — длина регулируемого участка ТПР;  
 $N2 - l_p / b$ ;  
 $N3 - b^* / b$ ;  
 $B3 - b^*$ , мм — ширина регулируемого участка ТПР.

#### Для ТПР типа 5

$L - l_2$ , мм — длина резистора;  
 $B3 - b^*$ , мм — общая ширина резистора.

### 3. Работа с программой расчета ТПР

Программа записана на диске «С» ПЭВМ в директории «LAB», имя программы «ТПР 10а». При запуске программы исходные данные вводятся после появления на экране дисплея соответствующих сервисных надписей:

КОЛИЧЕСТВО РЕЗИСТОРОВ В СХЕМЕ? - вводится N1.

На запрос с дисплея данных ввода нужно вводить числовые значения этих данных в указанных единицах, нажимая затем ENTER. Номинал, допуск, мощность вводятся для каждого ТПР в отдельности, остальные данные - сразу для всех ТПР. Погрешность ширины и длины ТПР вводится в виде абсолютных значений среднеквадратического отклонения, т.е.  $\sigma_b$  и  $\sigma_l$ .

После ввода всех параметров на экран будет выведено рекомендуемое оптимальное значение сопротивления квадрата резистивной пленки, его необходимо округлить и ввести в ЭВМ либо ввести другое (свое) значение.

Когда на экране будет предложено набрать номер выбранного материала резистивной пленки, необходимо по параметрам, распечатанным на экране, выбрать подходящий материал, набрать его номер и нажать «ENTER». При этом значение  $R_0$  этого материала запишется в память ЭВМ и в дальнейшем будет использовано в расчетах. Значения  $R_{\Omega}$  (на экране) приводятся для удобства выбора материала резистора.

Далее начнется расчет первого ТПР и через несколько секунд расчетные данные будут выведены на экран с сообщением о типе ТПР. К расчету очередного ТПР ЭВМ приступит после нажатия клавиши «ENTER».

В программе предусмотрена возможность смены материала и изменения некоторых параметров.

Если в процессе работы с программой будет получено сообщение «Смените материал», необходимо нажать «ENTER», записать номер и тип резистора, его расчетные параметры и приступить к расчету очередного резистора. Решение о смене материала ТПР для одного или нескольких резисторов принимается после расчета всех ТПР. При этом необходим повторный расчет.

При необходимости замены какого-либо параметра следует после запроса «ЖЕЛАЕТЕ ЛИ ИЗМЕНИТЬ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РЕЗИСТОРА?» набрать «1» и нажать «ENTER». На экране будут предложены параметры, подлежащие изменению. Набрав номер выбранного параметра, нужно нажать «ENTER», затем ввести значение параметра в соответствующих единицах и снова «ENTER». Расчет данного резистора будет повторен с новым значением измененного параметра. Следует помнить, что изменение номинала, допуска и мощности ТПР не повлечет за собой изменения этих параметров у других резисторов; что касается  $R_0$ ,  $\sigma_b$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_{R\Omega}$  - то они изменяются для данного и всех последующих ТПР. Если менять параметры для последующих резисторов не нужно, их необходимо восстановить после расчета данного резистора.

#### 4. Описание лабораторной установки

В качестве оборудования при выполнении работы используется любая серийная ПЭВМ типа IBM.

#### 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 ТПР и методику работы с программой.
5. Запустить программу расчета ТПР.

6. Рассчитать конструктивные параметры ТПР для различных значений  $\Phi(z)$ ,  $\sigma_b$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_{RП}$ ,  $R_{П}$  и др. (по заданию преподавателя).

7. Рассчитать размеры одного ТПР для нескольких значений  $\Phi(z)$  и построить график зависимости  $S = f(\Phi(z))$ .

8. Поработать с программой в режиме изменения данных. Построить зависимости конструктивных параметров ТПР от величин  $\sigma_b$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_{RП}$ ,  $R_{П}$ .

9. Вычертить эскизы всех ТПР, определить их габаритные размеры, суммарную площадь.

## 6. Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Краткая характеристика типов рассчитываемых ТПР.

3. Блок-схема программы расчета ТПР.

4. Расчетные данные (таблицы и графики).

5. Эскизы спроектированных ТПР.

6. Анализ полученных данных. Выводы.

## 7. Контрольные вопросы

1. Объяснить использование различных видов ТПР.

2. Объяснить методику расчета различных ТПР.

3. Назвать преимущества и недостатки различных типов ТПР.

4. Объяснить работу программы расчета ТПР по блок-схеме.

5. Перечислить и объяснить условия и ограничения, реализованные в программе расчета ТПР.

6. Рассказать правила работы с ЭВМ по программе ТПР.

7. Объяснить, как влияют на конструктивные параметры ТПР величины  $\sigma_b$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_{RП}$ ,  $R_{П}$ ,  $R$ ,  $P$  и другие.

8. Назвать основные правила техники безопасности при работе на ЭВМ.

## Библиографический список

1. Ермолаев Ю.П., Пономарев М. Ф., Крюков Ю.Г. Конструкции и технология микросхем. М.: Сов. радио, 1980.

2. Проектирование элементов гибридных интегральных микросхем и микросборок / СГАУ, МиГРЭА, 1993. Сост. Меркулов А.И., Дмитриев В.Д.

3. Коледов В.А. Технология и конструкции микросхем и микросборок: Учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1989.

Учебное издание

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ,  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ  
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

Составитель Меркулов Анатолий Игнатьевич

Редактор Л. Я. Чегодаева  
Корректор Л. Я. Чегодаева

Подписано в печать 12.10.02. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Усл.печ.л. 0,69. Усл.кр.- отт. 0,7. Уч. – изд.л. 0,75.  
Тираж 150 экз. Заказ № Арт.С-4(ДЗ)/2002.

Самарский государственный аэрокосмический  
университет имени академика С.П. Королева.  
443086 г.Самара, Московское шоссе, 34.

---

РИО Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443001 г.Самара, ул.Молодогвардейская, 151.