

В.О. Казючиц, С.М. Боровиков, Е.Н. Шнейдеров

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕПЛОвого СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕРЕХОД-КОРПУС МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ПО КОСВЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Аннотация

Длительность процедуры измерения теплового сопротивления переход-корпус полупроводниковых приборов большой мощности и необходимость наличия дорогостоящего специализированного измерительного оборудования ограничивают использование этого параметра в качестве информативного при решении задач индивидуального прогнозирования надежности полупроводниковых приборов. Тепловое сопротивление переход-корпус полупроводниковых приборов большой мощности предлагается определять по двум косвенным легкоконтролируемым электрическим параметрам, которые статистически коррелированы с интересующим тепловым сопротивлением. В качестве модели прогнозирования теплового сопротивления используется заранее полученное уравнение регрессии, включающее в себя в качестве факторов (аргументов) выбранные косвенные электрические параметры. На примере полевых транзисторов типа КП744А установлено, что использование электрических параметров, имеющих с тепловым сопротивлением переход-корпус заметную и/или умеренную корреляцию по шкале Чеддока (модуль коэффициента корреляции 0,4...0,7), позволяет получать прогнозные оценки теплового сопротивления с относительной ошибкой, не превышающей 7...10 %.

Ключевые слова: полупроводниковые приборы, надежность, индивидуальное прогнозирование, информативные параметры, тепловое сопротивление переход-корпус, уравнение регрессии.

Введение

Индивидуальное прогнозирование надежности изделий электронной техники по значениям их информативных параметров, полученным в начальный момент времени, представляет определенный интерес для предприятий, выполняющих сборку электронной аппаратуры. Для применения этого вида прогнозирования к конкретному типу полупроводниковых приборов должно быть получено при помощи предварительных исследований (обучающего эксперимента) прогнозирующее правило, показывающее, как по значениям информативных параметров, измеренным в начальный момент времени, принимать решение о классе экземпляра с точки зрения его работоспособности для заданной (будущей) наработки: K_1 – класс работоспособных экземпляров или K_0 – класс неработоспособных экземпляров [1]-[3]. Достоверность прогнозирования во многом зависит от информативных параметров, используемых для рассматриваемого типа полупроводниковых приборов. Выбор информативных параметров является важным этапом процедуры индивидуального прогнозирования класса

надежности полупроводниковых приборов для заданной наработки [1], [4].

Известно [5], что для полупроводниковых приборов большой мощности информативным параметром является тепловое сопротивление переход-корпус (обозначено через $R_{t,п-к}$). В электронной промышленности иногда выполняют отбраковку потенциально ненадежных полупроводниковых приборов большой мощности по повышенному значению $R_{t,п-к}$. Ввиду инерционности тепловых процессов, протекающих в конструкции полупроводникового прибора, контроль этого параметра в условиях промышленных предприятий, выполняющих сборку электронной аппаратуры, вызывает определенные проблемы прежде всего из-за длительности процедуры измерения. В то же время поиск для полупроводниковых приборов других параметров, обладающих достаточной информативностью, представляет непростую задачу [1], [4]. Актуальным является определение теплового сопротивления переход-корпус путем контроля других, легко измеряемых электрических параметров мощных полупроводниковых приборов. Эти косвенные параметры, используемые для прогнозирования

теплового сопротивления $R_{t,п-к}$, будем называть признаками. Использование электрических параметров, рассматриваемых в качестве признаков, будет способствовать уменьшению времени и трудозатрат при определении $R_{t,п-к}$, используемого для полупроводниковых приборов большой мощности в качестве информативного параметра.

Методика проведения исследований

В качестве полупроводниковых приборов, на примере которых был опробован (испытан) метод оценки теплового сопротивления переход-корпус с использованием признаков, были выбраны полевые транзисторы большой мощности типа КП744А. Для транзисторов этого типа была взята выборка объемом 200 экземпляров, и для нее проведен измерительный эксперимент. Суть эксперимента заключалась в измерении у каждого экземпляра выборки 10 легкоконтролируемых электрических параметров (параметров, рассматриваемых в качестве гипотетических признаков), а затем – в определении теплового сопротивления переход-корпус $R_{t,п-к}$ для каждого экземпляра при помощи специализированного измерительного оборудования.

Измерения большинства электрических параметров, рассматриваемых в качестве гипотетических признаков, и контроль теплового сопротивления переход-корпус транзисторов выполнялись с использованием сертифицированного измерительного оборудования филиала «Транзистор», входящего в состав предприятия ОАО «ИНТЕГРАЛ» (г. Минск).

В табл. 1 приведены параметры, которые в дальнейшем использовались в качестве признаков для прогнозирования $R_{t,п-к}$ полевых транзисторов типа КП744А.

По завершении измерений вся выборка объемом 200 экземпляров была случайным образом разделена на две выборки. Первая выборка объемом 100 экземпляров рассматривалась в качестве обучающей выборки, а измерительный эксперимент для нее – в качестве обучающего эксперимента. Вторая выборка объемом 100 экземпляров рассматривалась в качестве контрольной (тестовой) выборки. Обучающая выборка использовалась для получения модели прогнозирования теплового сопротивления $R_{t,п-к}$ транзисторов по значениям их электрических параметров, выбираемых в качестве признаков, а также для оценки возможных ошибок прогнозирования $R_{t,п-к}$ по полученной модели. Контрольная выборка использовалась для подтверждения качества полученной модели при ее использовании для прогнозирования значений $R_{t,п-к}$.

Используя результаты измерения параметров транзисторов, при помощи инструмента анализа «Корреляция» приложения Microsoft Excel определяли коэффициенты парной линейной корреляции r между каждым электрическим параметром x_j ($j = 1, 2, \dots$), предполагаемым для использования в качестве признака, и тепловым сопротивлением $R_{t,п-к}$. После этого, рассматривая различные сочетания параметров, приведенные в табл. 1, выбирали в качестве признаков два параметра x_1 и x_2 , для которых имела место корреляция с тепловым сопротивлением $R_{t,п-к}$ по шкале Чеддока [6] не ниже уровней «заметная» и/или «умеренная» ($|r| \geq 0,4 \dots 0,7$). Используя результаты обучающего эксперимента, для оценки $R_{t,п-к}$ получали модели прогнозирования в виде линейного уравнения регрессии

$$R_{t,п-к} = a_1 x_1 + a_2 x_2, \quad (1)$$

Таблица 1

Исследуемые электрические параметры транзисторов КП744А

Обозначение параметра	Пояснение	Размерность	Режим измерения*
$U_{зи.обр}$	Обратное напряжение затвор-исток	В	$I_C = -0,1 \text{ А}$
$U_{зи.пор}$	Пороговое напряжение полевого транзистора	В	$I_C = 250 \text{ мкА}$
$R_{си.отк}$	Сопротивление сток-исток в открытом состоянии	Ом	$I_C = 5,5 \text{ А}, U_{зи} = 10 \text{ В}$
$C_{зс}$	Емкость затвор-сток	пФ	$U_{зс} = 0$
$Q(C_{зс})$	Добротность емкости затвор-сток	–	$U_{зс} = 0$
$C_{зи}$	Емкость затвор-исток	пФ	$U_{зи} = 0$
$R_{t,п-к}$	Тепловое сопротивление переход-корпус транзистора	$^{\circ}\text{С}/\text{Вт}$	–

*П р и м е ч а н и я: I_C – ток стока; $U_{зи}$ – напряжение затвор-исток; $U_{зс}$ – напряжение затвор-сток.

где x_1 и x_2 – электрические параметры, используемые в качестве признаков; a_1 и a_2 – рассчитанные по прикладной компьютерной программе коэффициенты уравнения регрессии в предположении, что свободный член уравнения регрессии равен нулю.

В уравнении (1) коэффициент a_1 имеет размерность $[(\text{°C/Вт}) / \text{размерность } x_1]$, коэффициент a_2 – размерность $[(\text{°C/Вт}) / \text{размерность } x_2]$. Размеры электрических параметров x_1 и x_2 , подставляемые в дальнейшем в получаемые уравнения регрессии вида (1), и размерность значений $R_{t,п-к}$, получаемых по уравнению регрессии (1), соответствуют данным *табл. 1*.

После этого по уравнению вида (1) для экземпляров обучающей выборки находили прогнозные оценки $R_{t,п-к}$ и определяли возможные их ошибки. Использовалась средняя абсолютная процентная ошибка $\Delta_{ср}$ (англ. Mean Absolute Percentage Error, MAPE), определяемая с учетом [7] по формуле

$$\Delta_{ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\left| (R_{t,п-к}^{(прогн)})_i - (R_{t,п-к})_i \right|}{(R_{t,п-к})_i}, \quad (2)$$

где n – объем обучающей выборки; $(R_{t,п-к}^{(прогн)})_i$ – прогнозные значения $R_{t,п-к}$ для i -го экземпляра обучающей выборки, полученное по уравнению регрессии вида (1); $(R_{t,п-к})_i$ – экспериментальное (измеренное) значение $R_{t,п-к}$ для i -го экземпляра обучающей выборки ($i = 1, 2, \dots, n$).

Ошибку $\Delta_{ср}$ можно записывать в долях или процентах. Принято считать [1], что полученным уравнением регрессии вида (1) можно пользоваться для решения практических задач, если $\Delta_{ср} \leq 5...10\%$.

Отметим, что уравнение регрессии вида (1) для каждого типа полупроводниковых приборов получают один раз по результатам обучающего эксперимента и применяют при прогнозировании

значений $R_{t,п-к}$ для однотипных экземпляров, не являющихся представителями обучающей или контрольной выборок. Ошибка $\Delta_{ср}$ в этом случае примерно будет соответствовать значению, полученному по формуле (2) для экземпляров обучающей выборки.

Результаты и их обсуждение

Корреляционная матрица, полученная при помощи приложения Microsoft Excel по данным измерений рассматриваемых электрических параметров транзисторов типа КП744А для экземпляров обучающей выборки, соответствует *табл. 2*. С использованием [8] установлено, что оценки коэффициента корреляции, отвечающие условию $|r| > 0,247$, являются статистически значимыми при доверительной вероятности $\gamma = 0,99$. В матрицу включены шесть электрических параметров, которые наиболее коррелированы с тепловым сопротивлением $R_{t,п-к}$. Эти электрические параметры в дальнейшем использовались в качестве признаков.

По двум признакам ($U_{Зи.пор}$ и $C_{Зс}$) при помощи инструмента анализа «Регрессия» приложения Microsoft Excel для теплового сопротивления $R_{t,п-к}$ было получено линейное уравнение регрессии вида (1), для которого коэффициент детерминации $r^2 = 0,9996$:

$$R_{t,п-к} = 0,192U_{Зи.пор} + 0,00147C_{Зс}. \quad (3)$$

В данном случае r^2 выступает индикатором того, насколько модель адекватна и насколько хорошо она описывает результаты обучающего эксперимента. Исследователей больше интересует оценка точности прогнозов. Оценить качество модели можно, используя процедуру ретропрогноза [7]. В этом случае интерес представляет не только то, как модель себя повела на обучающей выборке, но и то, как она себя поведет на контрольной выборке.

Таблица 2

Корреляционная матрица параметров

Параметр	$U_{Зи.обр}$	$U_{Зи.пор}$	$R_{Си.отк}$	$C_{Зс}$	$Q(C_{Зс})$	$C_{Зи}$	$R_{t,п-к}$
$U_{Зи.обр}$	1	–	–	–	–	–	–
$U_{Зи.пор}$	0,801	1	–	–	–	–	–
$R_{Си.отк}$	0,316	–0,043	1	–	–	–	–
$C_{Зс}$	–0,739	–0,787	–0,166	1	–	–	–
$Q(C_{Зс})$	0,692	0,830	–0,008	–0,888	–	–	–
$C_{Зи}$	–0,429	–0,581	0,089	0,590	–0,563	1	–
$R_{t,п-к}$	0,568	0,684	–0,315	–0,468	0,553	0,431	1

Вначале о качестве полученной модели вида (1) будем судить по средней абсолютной процентной ошибке Δ_{cp} , определяемой по формуле (2). В табл. 3 в качестве иллюстрации приводится фрагмент данных об экспериментальных (фактических) значениях $R_{t,п-к}$ для экземпляров обучающей выборки и значениях $R_{t,п-к}$, полученных по уравнению регрессии (3).

В табл. 3 для каждого экземпляра выборки указывается абсолютная процентная ошибка Δ_i (англ. Absolute Percentage Error, APS), определяемая отношением, стоящим за знаком Σ в формуле (2).

Интерес представляет анализ относительных ошибок прогнозирования, принимающих во внимание знак (плюс или минус) отклонения прогнозных оценок $R_{t,п-к}$ от их измеренных значений.

На примере использования уравнения регрессии (3) установлено, что относительная ошибка $(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})$, определяемая (обычно в процентах) как

$$\frac{\Delta(R_{t,п-к})_i}{(R_{t,п-к})_i} = \frac{(R_{t,п-к}^{(прогн)})_i - (R_{t,п-к})_i}{(R_{t,п-к})_i}, \quad i = 1, 2, \dots, 100, \quad (4)$$

неплохо описывается нормальным законом распределения, что подтверждается видом гистограмм распределения. На рис. 1 в качестве примера показана гистограмма распределения величины $(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})$ для случая получения прогнозных оценок $R_{t,п-к}$ по уравнению регрессии (3).

С учетом гипотезы о нормальном законе распределения относительной ошибки $(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})$ можно записать ее предельные отклонения $\Delta_{откл}$, обусловленные оценкой теплового сопротивления

$R_{t,п-к}$ по косвенным электрическим параметрам с использованием уравнения регрессии: минимальное $(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})_{\min}$ и максимальное $(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})_{\max}$ значения.

$$\Delta_{откл} = \left[\left(\frac{\Delta R_{t,п-к}}{R_{t,п-к}} \right)_{\min} \dots \left(\frac{\Delta R_{t,п-к}}{R_{t,п-к}} \right)_{\max} \right] = \left\{ \left[M \left(\frac{\Delta R_{t,п-к}}{R_{t,п-к}} \right) - t_\gamma \cdot \sigma \left(\frac{\Delta R_{t,п-к}}{R_{t,п-к}} \right) \right] \dots \left[M \left(\frac{\Delta R_{t,п-к}}{R_{t,п-к}} \right) + t_\gamma \cdot \sigma \left(\frac{\Delta R_{t,п-к}}{R_{t,п-к}} \right) \right] \right\}, \quad (5)$$

где $M(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})$, $\sigma(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})$ – соответственно математическое ожидание (среднее значение) и стандартное отклонение величины $(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})$, полученные с использованием экземпляров обучающей выборки; t_γ – коэффициент, зависящий от вероятности, с которой гарантируются возможные отклонения прогнозных оценок $R_{t,п-к}$ от результатов измерений, полученных с использованием специализированного измерительного оборудования.

Воспользовавшись правилом «трех сигм», принимаем $t_\gamma = 3$ [8]. Тогда пределы, задаваемые выражением (5), будут гарантироваться с вероятностью P , практически равной единице (теоретически со значением $P = 0,9973$).

Рассматривая в работе различные комбинации признаков (см. табл. 2), можно получить и другие уравнения линейной регрессии вида (1), которые могут быть использованы для прогнозирования теплового сопротивления $R_{t,п-к}$ полевых транзисторов большой мощности типа КП744А:

Таблица 3

Сравнение экспериментальных и прогнозных значений $R_{t,п-к}$ (фрагмент)

Номер экземпляра обучающей выборки	Значение $R_{t,п-к}$, °С/Вт		Абсолютная процентная ошибка Δ_i (англ. APS), %
	экспериментальное	по уравнению (3)	
1	1,66	1,684	1,46
2	1,60	1,663	3,95
3	1,70	1,684	0,92
4	1,66	1,685	1,51
5	1,70	1,688	0,72
6	1,73	1,708	1,28
7	1,56	1,613	3,40
...
Максимальная абсолютная процентная ошибка $\Delta_{i,max} = 5,85$ %			
Средняя абсолютная процентная ошибка $\Delta_{cp} = 1,71$ %			

$$R_{t,п-к} = 2,13U_{обр.зи} + 0,0970U_{зи.пор}; \quad (6)$$

$$R_{t,п-к} = 2,62U_{обр.зи} - 0,000370Q(C_{зс}). \quad (7)$$



Рис. 1. Гистограмма распределения относительной ошибки $\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к}$ для оценок $R_{t,п-к}$, получаемых по уравнению регрессии (3)

В табл. 4 приводятся характеристики, описывающие качество прогнозных оценок $R_{t,п-к}$, получаемых по уравнениям (3), (6) и (7). Указываются значения абсолютных процентных ошибок для экземпляров обучающей и контрольной выборок.

Из табл. 4 видно, что использование для прогнозирования теплового сопротивления $R_{t,п-к}$ моделей (3), (6) и (7), включающих в себя два признака, для которых корреляция с параметром $R_{t,п-к}$ соответствует заметному и/или умеренному

уровню по шкале Чеддока ($|r| = 0,4...0,7$), обеспечивает приемлемые для практики прогнозные оценки $R_{t,п-к}$ при разных сочетаниях используемых признаков. Средняя абсолютная процентная ошибка $\Delta_{ср}$ оценок $R_{t,п-к}$ для экземпляров контрольной выборки, включающей в себя 100 однотипных транзисторов, не превысила 2 %, а максимальная – 7 %.

В табл. 5 для прогнозных оценок $R_{t,п-к}$, полученных по уравнениям регрессии (3), (6) и (7), приводятся расчетные предельные относительные отклонения $(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})_{min}$ и $(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})_{max}$, полученные по выражению (5). Эти значения определены в предположении гипотезы о нормальном законе распределения величины $\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к}$, а также с учетом числовых характеристик $M(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})$ и $\sigma(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})$, подсчитанных для экземпляров обучающей выборки.

Модели (3), (6) и (7) предполагают использование двух легкоконтролируемых электрических параметров, не требующих специализированного измерительного оборудования. Из табл. 5 видно, что определяемые по этим моделям прогнозные оценки $R_{t,п-к}$ с учетом знака отклонений могут отличаться не более чем на $-6,6...+6,7$ % от значений, полученных с использованием специализированного измерительного оборудования. Эти предельные отклонения ($-6,6...+6,7$ %) получены с использованием экземпляров обучающей выборки и являются расчетными (проектными) значениями, они обеспечиваются с вероятностью

Таблица 4

Качество прогнозных оценок $R_{t,п-к}$

Используемые признаки		Уравнение регрессии (модель) Номер	Абсолютная процентная ошибка прогнозирования $R_{t,п-к}$, определяемая по уравнению (2), %			
1-й признак	2-й признак		Обучающая выборка		Контрольная выборка	
			$\Delta_{ср}$	$\Delta_{l,max}$	$\Delta_{ср}$	$\Delta_{l,max}$
$U_{зи.пор}$	$C_{зс}$	(3)	1,71	5,85	1,55	5,76
$U_{обр.зи}$	$U_{зи.пор}$	(6)	1,55	6,85	1,56	5,69
$U_{обр.зи}$	$Q(C_{зс})$	(7)	1,67	7,12	1,73	6,28

Таблица 5

Предельные относительные отклонения прогнозных оценок $R_{t,п-к}$

Номер уравнения регрессии (модели)	Расчетные значения предельных относительных отклонений $R_{t,п-к}$, полученные с использованием экземпляров обучающей выборки (100 транзисторов), %		Действительные значения предельных относительных отклонений $R_{t,п-к}$ для экземпляров контрольной выборки (100 транзисторов), %	
	$(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})_{min}$	$(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})_{max}$	$(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})_{min}$	$(\Delta R_{t,п-к} / R_{t,п-к})_{max}$
(3)	-6,34	6,40	-3,86	5,76
(6)	-6,20	6,28	-3,99	5,69
(7)	-6,59	6,69	-6,28	5,16

R , близкой к единице. Предельные отклонения, наблюдаемые для экземпляров контрольной выборки (100 экземпляров), не превысили расчетных значений (см. табл. 5).

Таким образом, использование легкоизмеряемых электрических параметров, выбираемых в качестве признаков, обеспечивает для исследуемых транзисторов типа КП744А получение прогнозных оценок $R_{т.п-к}$ с приемлемыми для практических применений ошибками. Это позволяет избежать покупки (аренды) и применения сложного специализированного измерительного оборудования, реализующего методы, разработанные на основе отечественных и зарубежных нормативно-технических документов (ОСТ 11 0944–96 Микросхемы интегральные и приборы полупроводниковые. Методы расчета, измерения и контроля теплового сопротивления; EIA/JEDEC JESD51-1 Standard. IC Thermal Measurement Method – Electrical Test Method. Single Semiconductor Device).

Рекомендации по получению модели прогнозирования

Ниже приводятся некоторые рекомендации по практическому получению уравнения регрессии для прогнозирования $R_{т.п-к}$ мощных полупроводниковых приборов.

1. Для использования в качестве признаков следует выбирать легкоконтролируемые электрические параметры, для которых корреляция с величиной $R_{т.п-к}$ не ниже уровня «заметная» по шкале Чеддока ($|r| > 0,4$) и которые менее всего коррелированы между собой. При этом, как показал анализ, объем обучающей выборки должен быть не менее 30 экземпляров.

2. При использовании в уравнении регрессии двух признаков в случае неудовлетворительной ошибки прогнозирования $R_{т.п-к}$, определяемой по выражениям (2) или (5), рекомендуется построить и проверить качество (по ошибке прогнозирования) неполного квадратичного уравнения регрессии вида

$$R_{т.п-к} = a_1x_1 + a_2x_2 + a_{12}x_1x_2, \quad (8)$$

где a_{12} – коэффициент уравнения регрессии при произведении признаков x_1 и x_2 , определяется совместно с коэффициентами a_1 и a_2 по прикладным программам для ЭВМ, размерность коэффициента $[(^{\circ}\text{C}/\text{Вт}) / (\text{размерность } x_1 \times \text{размерность } x_2)]$.

Модель (8) позволяет в случае необходимости уменьшить ошибки прогнозирования.

Заключение

На примере полевых транзисторов большой мощности типа КП744А показана возможность оценки теплового сопротивления переход-корпус при помощи косвенных электрических параметров (признаков), подставляемых в заранее получаемую модель прогнозирования в виде уравнения регрессии. Использование двух электрических параметров (признаков), имеющих с тепловым сопротивлением переход-корпус заметную и/или умеренную корреляцию по шкале Чеддока (модуль коэффициента корреляции 0,4...0,7), позволяет для этих транзисторов получать по уравнению регрессии прогнозные оценки теплового сопротивления с максимальной относительной ошибкой, не превышающей 7 %.

Возможность применения предложенного метода определения теплового сопротивления переход-корпус была также подтверждена и для биполярных транзисторов большой мощности (тип КТ819В). При этом максимальная относительная ошибка оценки теплового сопротивления по заранее полученному уравнению регрессии вида (1) не превышала 10 % относительно значений, определяемых при помощи специализированного измерительного оборудования.

Применение предложенного метода создает предпосылки для включения теплового сопротивления переход-корпус в число используемых информативных параметров при решении задач индивидуального прогнозирования надежности полупроводниковых приборов большой мощности в случаях, когда использование специализированного (обычно дорогостоящего) оборудования для измерения теплового сопротивления невозможно либо ограничено из-за длительности процедуры измерения или экономических причин.

Список литературы:

1. Боровиков С.М. Статистическое прогнозирование для отбраковки потенциально ненадежных изделий электронной техники. – М.: Новое знание, 2013. 343 с.
2. Боровиков С.М., Казючич В.О. Индивидуальное прогнозирование надежности транзисторов большой мощности для электронных устройств медицинского назначения // Доклады БГУИР. 2021. Т. 19. № 1. С. 88-95.

3. Казючиц В.О. Эвристическая модель прогнозирования работоспособности полупроводниковых приборов // Доклады БГУИР. 2022. Т. 20. № 1. С. 92-100.
4. Казючиц В.О., Боровиков С.М., Шнейдеров Е.Н. Поиск информативных параметров как одна из задач процедуры индивидуального прогнозирования надежности полупроводниковых приборов // Интернаука. 2021. № 15 (191). Ч. 2. С. 11-16.
5. Бердичевский Б.Е., Дубицкий Л.Г., Сушенцев Г.М., Агеев А.П. Неразрушающий контроль элементов и узлов радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. Б.Е. Бердичевского. – М.: Сов. радио, 1976. 296 с.
6. Величина и сила коэффициента корреляции / <https://statpsy.ru/correlation/velicina/> (дата обращения: 3.06.22).
7. Современное прогнозирование. Оценка качества прогнозных моделей / https://forecasting.svetunkov.ru/etextbook/forecasting_toolbox/models_quality/ (дата обращения: 3.06.22).
8. Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. – Минск: ДИЗайнПРО, 1998. 336 с.

Владислав Олегович Казючиц,
магистр техн. наук, аспирант,
Сергей Максимович Боровиков,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра проектирования
информационно-компьютерных систем,
Евгений Николаевич Шнейдеров,
канд. техн. наук, проректор по учебной работе,
УО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»,
г. Минск, Республика Беларусь,
e-mail: vladkaz@bsuir

**Международное научно-техническое общество приборостроителей
и метрологов (МНТО ПМ) – учредитель и издатель журнала
«Медицинская техника».**

Журнал «Медицинская техника» издается с 1967 года. Журнал отражает на своих страницах последние научно-технические достижения и основные тенденции в развитии медицинской техники как в нашей стране, так и за рубежом. Журнал освещает опыт работы НИИ, КБ и предприятий, занятых созданием и изготовлением изделий медицинской техники (приборов, аппаратов, оборудования, инструментов, очковой оптики), а также опыт их использования в лечебно-профилактических учреждениях. Публикуемые материалы предназначены для разработчиков, научных работников, производственников, медицинских работников и затрагивают вопросы исследований, конструирования, расчетов, технологии производства медицинской техники, а также вопросы экономики и организации ее производства и эксплуатации. Журнал информирует о новых изделиях медицинской техники промышленного выпуска, о международных и региональных выставках, съездах, симпозиумах, посвященных медицинской технике. Журнал «Медицинская техника» переводится на английский язык издательством «Springer» под названием «Biomedical Engineering».

Журнал зарегистрирован в ВАК РФ как научное издание.

Журнал выходит 6 раз в год и распространяется по подписке.

В редакции можно оформить льготную подписку на 2022 год.

Стоимость годовой подписки (6 экз.) – 9000 руб.

Заявки принимаются по тел./факсу: **(495) 695-10-71**

или по e-mail: **kavalerov@mail.ru**.

Более подробная информация о журнале «Медицинская техника» –
на сайте: **www.mtjournal.ru**.