

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

<sup>1</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь, доцент, кандидат технических наук, доцент

<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи», г. Минск, Республика Беларусь, декан факультета инжиниринга и технологий связи, кандидат технических наук, доцент

<sup>3</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь, магистрант

Одним из подходов к обеспечению повышенной надежности полупроводниковых приборов (ППП) для использования их в составе ответственной аппаратуры, в том числе систем телекоммуникаций, является отбор экземпляров (образцов, единиц), отвечающих требованию надежности. При этом в инженерной практике находят применение методы индивидуального прогнозирования надежности, основанные на использовании информативных параметров приборов. Эти методы позволяют для интересующего типа ППП по заранее полученной модели прогнозирования разделить выборку (партию) готовых приборов, прошедших выходной контроль и признанных годными для поставки потребителю, на два класса:

$K_1$  – класс работоспособных экземпляров для заданной наработки  $t_3$ ;

$K_2$  – класс неработоспособных экземпляров для наработки  $t_3$ .

Экземпляры класса  $K_2$  с большой вероятностью откажут раньше заданной наработки  $t_3$  из-за наличия в них скрытых дефектов, не выявленных производственным контролем при изготовлении приборов.

Разделение выборки ППП в начальный момент времени на два класса выполняют путем контроля (измерения) у каждого экземпляра информативных параметров. Обозначим эти параметры через  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , где  $k$  – число информативных параметров, используемых для индивидуального прогнозирования (обычно  $k = 2 \dots 5$ ). Для принятия в начальный момент времени решения о классе экземпляра, к которому он будет принадлежать для интересующей наработки  $t_3$ , используют модель прогнозирования, в которую подставляют значения информативных параметров прогнозируемого экземпляра. Модель получают заблаговременно, исследуя на надежность часть экземпляров той выборки однотипных ППП, для которой в дальнейшем будет выполняться прогнозирование класса работоспособности для наработки  $t_3$ . Эту часть выборки называют обучающей, ее объем составляет примерно 30...100 экземпляров. Исследования на надежность обучающей выборки (так называемый обучающий эксперимент) выполняют, используя ускоренные испытания в течение времени, эквивалентном заданной наработке  $t_3$  с точки зрения функционирования и возникновения отказов ненадежных экземпляров этой выборки. Модель прогнозирования получают в следующем виде [1]:

$$\begin{aligned} j \in K_1, \text{ если } F_j[x_1^{(j)}, \dots, x_k^{(j)}] \geq P_0 \\ j \in K_2, \text{ если } F_j[x_1^{(j)}, \dots, x_k^{(j)}] < P_0, \end{aligned} \quad (1)$$

где символ  $j$  означает конкретный экземпляр;  $F_j[\dots]$  – прогнозирующая функция, подсчитанная для  $j$ -го экземпляра;  $P_0$  – порог разделения классов, выбираемый экспериментально из условия лучшего разделения на классы экземпляров обучающей выборки.

Метод индивидуального прогнозирования называют по способу определения прогнозирующей функции  $F_j$ . Об эффективности метода прогнозирования обычно судят по вероятности принятия правильных решений в предположении применения построенной модели прогнозирования (1) к экземплярам обучающей выборки, действительный класс которых для наработки  $t_3$  известен по результатам обучающего эксперимента. Если достоверность прогнозирования отвечает требованиям, то построенную модель прогнозирования (1) можно использовать для определения класса экземпляров для наработки  $t_3$  применительно к выборке ППП, из которой была взята обучающая выборка. Возникает вопрос, какой метод прогнозирования обеспечивает лучшие результаты прогнозирования для ППП. Использование обучающих выборок из-за их ограниченного объема не позволяет получить аргументированный ответ на этот вопрос.

Для получения ответа на вопрос предлагается экспериментально исследовать закономерности информативных параметров ППП и с учетом этого выполнить статистическое имитационное моделирование обучающего эксперимента. При этом представляется возможным использовать обучающую выборку, включающую тысячи экземпляров каждого класса ( $K_1$  и  $K_2$ ). Экспериментально установлено, что информативные параметры полупроводниковых приборов большой мощности отдельно в классе  $K_1$  и классе  $K_2$  неплохо описываются трехпараметрическим распределением Вейбулла [2]. Этот факт принят во внимание при выполнении статистического имитационного моделирования результатов обучающего

эксперимента. Объем обучающей выборки принят равным 10 000 экземпляров, в том числе количество экземпляров класса  $K_1$  для заданной наработки  $t_3$  – 6 000 экземпляров. В таблице 1 указаны исследуемые на эффективность методы прогнозирования, основанные на использовании информативных параметров.

Таблица 1 – Исследуемые методы прогнозирования

Способ определения прогнозирующей функции $F_i[\dots]$	Особенность метода	Источник для ознакомления
1. Метод статистических решений	Использование отношения правдоподобия	[1, 3]
2. Метод потенциальных функций	Использование потенциала, наводимого на рассматриваемый экземпляр всеми экземплярами обучающей выборки	[1, 3]
3. Метод пороговой логики с преобразованием информативных параметров	Преобразование в двоичный код	[1, 4]
	Преобразование в троичный код	[5]

Дальнейшая компьютерная обработка результатов смоделированного обучающего эксперимента позволит сформулировать рекомендации по использованию в практике моделей прогнозирования, обеспечивающих наибольшую эффективность при прогнозировании класса работоспособности мощных полупроводниковых приборов для заданной наработки.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Боровиков, С. М. Статистическое прогнозирование для отбраковки потенциально ненадежных изделий электронной техники: монография / С. М. Боровиков. – М. : Новое знание, 2013. – 343 с.

2. Боровиков, С. М. Статистическое имитационное моделирование в исследовании эффективности моделей прогнозирования надежности изделий по информативным параметрам = Statistical simulation modeling in the research of the effectiveness of models for predicting product reliability by informative parameters / С. М. Боровиков // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2024. – С. 122–131.

3. Пестряков, В. Б. Индивидуальное прогнозирование состояния РЭА с использованием теории распознавания образов: учеб. пособие / В. Б. Пестряков, В. В. Андреева. – Куйбышев : Изд-во КуАИ, 1980. – 88 с

4. Метод прогнозирования надежности изделий электронной техники / С. М. Боровиков [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2006. – Т. 50, № 4. – С. 105–109.

5. Прогнозирование класса надежности изделий электронной техники методом преобразования информативных параметров в дискретный код = Prediction of the class of reliability of electronic equipment by the method of converting informative parameters into a discrete code / В. О. Казючиц, С. М. Боровиков, М. П. Батура, Е. Н. Шнейдеров // Доклады ТУСУР. – 2023. – Т. 26, № 1. – С. 91–97.