

К. т. н. Л. П. ВЕРШИННИНА

Россия, г. С.-Петербург.

Дата поступления в редакцию  
21.04 1997 г.  
Оппонент д. т. н. В. А. ЛОПУХИНПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ  
УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

*Предложена модель прогнозирования качества устройств, позволяющая в условиях неполных и нечетких данных получать результаты с приемлемой точностью.*

*The model of quality prediction of devices, that allows in conditions of incomplete and indistinct data to obtain results with acceptable accuracy, was proposed.*

В процессе производства электронных устройств возникает ряд задач по обеспечению контроля и управления качеством, в которых необходимым этапом является выработка решений на основе результатов прогнозирования. К таким задачам относятся:

- определение области начальной настройки параметров технологического процесса;
- выбор и корректировка технологических режимов в процессе производства;
- обоснование требований входного контроля изделий и материалов;
- выбор и обоснование оптимальных режимов технологических испытаний;
- обоснование режимов хранения изделий и материалов;
- оптимизация процесса контроля качества изделий в процессе производства.

К традиционным методам прогнозирования качества электронных устройств относятся [1]:

- аналитическое прогнозирование;
- вероятностное прогнозирование;
- статистическая классификация (распознавание образов).

Практическое использование этих методов наталкивается на ряд трудностей. Самая существенная из них — построение математической (аналитической или статистической) модели объекта, описывающей функционирование объекта и его взаимодействие со средой. Так, при выборе технологических режимов рассматриваемая модель должна связывать параметры технологического процесса и выходные характеристики устройства (показатели качества). Необходимость учета всех известных факторов, играющих роль в обеспечении качества рассматриваемого объекта, как правило, приводит к недопустимо громоздкой модели объекта (система диффе-

ренциальных уравнений высокого порядка, матрица ограничений большой размерности и т. п.), что практически исключает возможность ее использования, например, при оперативном управлении. С другой стороны, игнорирование некоторых параметров объекта и упрощение модели приводит к ее неадекватности.

Использование ряда методов ограничено условиями их применимости. Так, методы аналитического прогнозирования (экстраполирование параметра, градиентный) предполагают регулярность изменения компонентов процесса во времени или пространстве, что на практике не всегда имеет место. Более того, в производстве электронных изделий исследуемый объект иногда может выступать как объект с неоднородными характеристиками, т. е. обладающий одновременно различными характеристиками и структурой. Это обусловлено неоднородностью неуправляемых входных переменных — конструктивных, производственных. (Примером объекта с неоднородными характеристиками могут служить процессы травления и формовки анодной алюминиевой фольги для электролитических конденсаторов.)

Ограниченный объем и зашумленность экспериментальных данных, весьма расплывчатая априорная информация о статистических характеристиках приложенных возмущений часто затрудняют использование статистических методов прогнозирования (экспоненциальное сглаживание, регрессионный анализ и т. д.).

Особенностью задач прогнозирования качества электронных устройств является то, что они часто должны решаться в режиме реального времени, причем значительная часть информации имеется в форме представлений и пожеланий экспертов, то есть является качественной.

Таким образом, мы приходим к выводу о необходимости использования новой математической и методологической основы для решения подобных задач. В качестве такой основы предлагается использовать теорию нечетких множеств [2]. Этот аппарат позволяет формализовать не только нечеткость описаний данных, но и качественные знания, которые не могут быть формализованы в обычном математическом смысле.

Формализацию качественной информации с помощью аппарата нечетких множеств рассмотрим на иллюстративном примере прогнозирования качества толсто пленочных резистивных плат. Процесс изготовления таких плат на специально разработанном технологическом оборудовании и аналитическая модель этого процесса описаны в [3].

Исследуем влияние температуры ( $T$ ) и времени вжигания ( $\tau$ ) на величину относительного разброса сопротивлений резисторов ( $\delta R$ ). Пусть  $A, B, C$  – лингвистические переменные, соответствующие  $T, \tau, \delta R$ , причем каждая переменная может иметь лингвистические значения «малый» уровень ( $A_1, B_1, C_1$ ), «средний» ( $A_2, B_2, C_2$ ) и «большой» ( $A_3, B_3, C_3$ ).

Функции принадлежности  $\mu$ , соответствующие лингвистическим переменным  $A$  и  $B$ , получены путем экспертного опроса и представлены на рис. 1, 2. Уровням  $C_1, C_2, C_3$  лингвистической переменной  $C$  соответствуют значения  $\delta R$  в интервалах 1...5, 5...10, 10...15%.

Пусть в результате опроса технолога-эксперта получена качественная информация (табл. 1), на основе которой требуется осуществить прогнозирование разброса сопротивлений при температуре  $T_0$  и времени вжигания  $\tau_0$ . Как следует из таблицы, при «малых» значениях лингвистических переменных  $A$  и  $B$  получаем «большое» значение лингвистической переменной  $C$  и т. д.

Таблица 1

Качественная модель прогнозирования разброса значений сопротивления резисторов

A	B	C
A1	B1	C3
A1	B2	C2
A2	B2	C1
A2	B3	C1
A3	B1	C2

Представим модель прогнозирования в виде совокупности продукционных правил:

если ( $A=A_2$  и  $B=B_2$ )  
или ( $A=A_2$  и  $B=B_3$ ), то  $C=C_1$ ; (1)

если ( $A=A_1$  и  $B=B_2$ )  
или ( $A=A_3$  и  $B=B_1$ ), то  $C=C_2$ ; (2)

если ( $A=A_1$  и  $B=B_1$ ), то  $C=C_3$ . (3)

Для решения поставленной задачи прогнозирования рассчитываем в точке ( $T_0, \tau_0$ ) значения функций принадлежности трех (по числу градаций величины разброса сопротивлений) размытых множеств (здесь  $\wedge$  и  $\vee$  - операции min и max, соответственно):

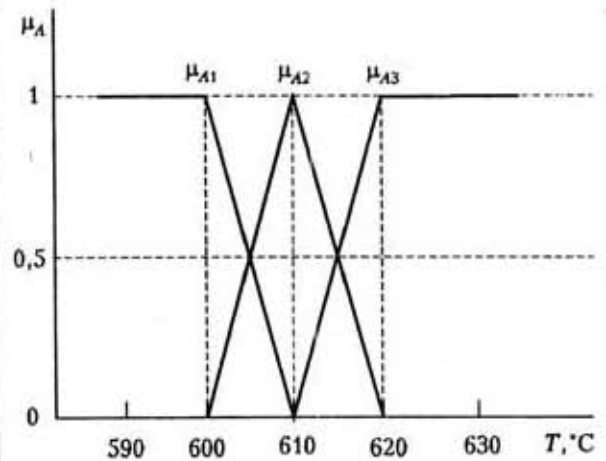


Рис 1. Лингвистическая переменная "температура вжигания"

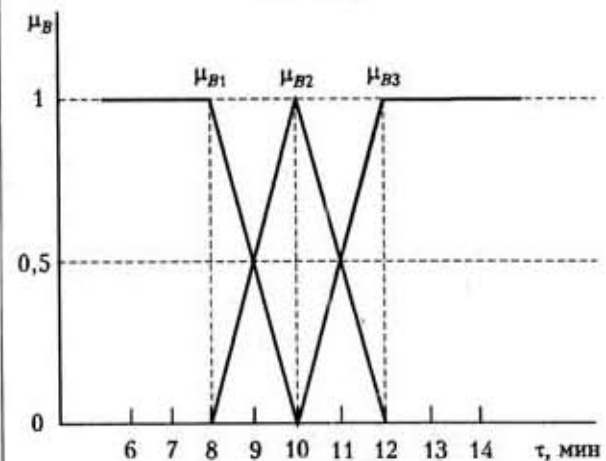


Рис 2. Лингвистическая переменная "время вжигания"

$\mu_1 = (\mu_{A2} \wedge \mu_{B2}) \vee (\mu_{A2} \wedge \mu_{B3})$ , что соответствует малому разбросу;

$\mu_2 = (\mu_{A1} \wedge \mu_{B2}) \vee (\mu_{A3} \wedge \mu_{B1})$ , что соответствует среднему разбросу;

$\mu_3 = \mu_{A1} \wedge \mu_{B1}$ , что соответствует большому разбросу.

Наибольшее из значений  $\mu_1, \mu_2$  и  $\mu_3$  и определяет прогнозируемое значение разброса.

Приведенный в табл. 2 сравнительный анализ результатов прогнозирования по описанной нечеткой модели и аналитической модели показывает, что эти результаты хорошо согласуются.

Таблица 2

Прогнозирование точности изготовления резисторов

T, °C	τ, мин	μ <sub>1</sub>	μ <sub>2</sub>	μ <sub>3</sub>	Точность резисторов, %	
					По аналитической модели	По нечеткой модели
603	12	0,15	0	0	4,9	1...5
610	10	1	0	0	4,2	1...5
608	15	0,8	0	0	4,7	1...5
612	14	0,8	0	0	5,0	1...5

Для обеспечения более высокой точности прогнозирования нечеткая модель (1) – (3) может быть легко дополнена поправками, полученными на основе новых экспериментальных данных. Предложенный подход к прогнозированию качества электронных устройств является перспективным в условиях дефицита времени при неполной или нечеткой информации. Простота алгоритма делает возможным решение задач прогнозирования любой сложности.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Колявин В.П., Костенко Ю.Н., Скосырский Г.С. Прогнозирование технического состояния из-

делий электронной техники в процессе производства // Обзоры по электронной технике. Сер. Управление качеством, метрология, стандартизация. — 1980. — Вып. 1.

2. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта /Под ред. Д. А. Поспелова — М.: Наука, 1986.

3. Горохов Л. В., Вершинина Л. П. Моделирование процесса изготовления толсто пленочных прецизионных резистивных плат // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 1993. — № 3–4. — С. 34–36.

1977–1998

Научно-технический журнал

**«Технология и конструирование в электронной аппаратуре»**

(Из Основных положений)

♦ **Цель журнала** — способствовать развитию и реализации научно-технических возможностей отрасли посредством направленной публикации научно-технической информации.

♦ **Авторский коллектив** составляют предприятия, организации и учреждения, а также отдельные ученые и специалисты, работающие в области интересов журнала на территории Украины, России, Белоруссии, Литвы, Молдавии. Журнал открыт и для авторов других регионов.

♦ **Читательская аудитория** — академические и отраслевые НИИ, вузы, конструкторские и конструкторско-технологические бюро и другие предприятия и организации. Журнал распространяется по подписке через отделения связи по каталогу «Газеты. Журналы» агентства «Роспечать» (Москва), по Каталогу периодических изданий Украины (Киев), а также по подписке непосредственно через редакцию. Журнал включен в каталог АО «Международная книга» (Москва).

♦ **Характер публикаций** отвечает характеру научно-производственной деятельности — технической и экономическая политика, перспективные достижения науки, прикладные исследования и разработки, производственный опыт.

♦ **Используемые жанры** — прогнозно-аналитическая статья, проблемно-постановочная, обзорная, по результату НИР или ОКР, в порядке дискуссии, «круглый стол», интервью, сообщение, реферат, информация, реклама и др. Журнал может иметь приложения.

♦ **Охрана государственных тайн** в публикуемых рукописях обеспечивается экспертными структурами предприятий, где работают авторы. Представляемые в редакцию рукописи, подготовленные на предприятиях Украины, сопровождаются экспертными заключениями.

♦ **Международные связи** применительно к странам — не членам СНГ предполагают публикации зарубежных авторов и рекламодателей, а также развитие контактов с ведущими журналами в родственных областях.

♦ **Журнал не может использоваться** в интересах отдельной научной школы, отдельной группы предприятий и т. п.

♦ **Источниками финансирования** могут быть бюджетные и внебюджетные государственные фонды, общественные фонды, благотворительные взносы юридических и физических лиц, а также хозяйственная деятельность редакции журнала.