

при трансверсальном сдвиге / В. А. Нестеров. Заяв. № 2009617627 ; 31.12.2009.

3. А. с. о гос. регистр. прог. для ЭВМ № 2010611593 / 26.02.2010. Конечно-элементное исследование напряженно-деформированного состояния и собственных колебаний цилиндрической панели с учетом трансверсальной податливости / В. А. Нестеров. Заяв. № 2009617626 ; 31.12.2009.

Referens

1. Vasilyev V. V. *Mekhanika konstruksiy iz kompozitsionnykh materialov* (Mechanics of composite struc-

tures. M: Mechanical engineering). Moscow, Mashinostroyeniye, 1988, 272 p.

2. A set of programs for basic matrices and vectors of the theory of finite elements FEM for beams, plates and shells, stretch during transverse shear: Auth. of State. Register. prog. computer № 2010611594. 26.02.2010. Nesterov V. A. Stated. № 2009617627, 31.12.2009, 6 p.

3. Finite element study of the stress-strain state and the natural vibrations of cylindrical panels with the transversal compliance: Auth. of State. Register. prog. computer № 2010611593. 26.02.2010. Nesterov V. A. Stated. № 2009617626, 31.12.2009, 33 p.

© Нестеров В. А., 2013

УДК 62-506.1

О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ И УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ

В. И. Орлов¹, Н. А. Сергеева²

¹ОАО «Испытательно-технический центр – НПО ПМ»

Россия, 662970, Железногорск, ул. Молодежная, 20. E-mail: itcnpopm@atomlink.ru

²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31. E-mail: sergena@list.ru

Рассматривается комплекс задач диагностики электрорадиоизделий (ЭРИ) по данным испытаний неразрушающего контроля. В частности, рассматриваются результаты диагностики некоторых видов интегральных микросхем, транзисторов и диодных матриц. В результате обработки диодных матриц выявлены различные группы годных изделий. Приводятся некоторые численные результаты обработки диагностических параметров. В этой связи анализируется задача ведения технологического процесса изготовления ЭРИ заданного качества. Приводятся непараметрические модели дискретно-непрерывных процессов для различных технологических этапов производства. Излагается также последовательность формирования управляющих воздействий для всего технологического цикла. Непараметрические оценки, модели, алгоритмы управления и принятия решений базируются на непараметрических статистиках Надарая–Ватсона. Приводятся конкретные непараметрические модели и алгоритмы, которые могут быть положены в основу при проектировании компьютерных систем диагностики ЭРИ по результатам испытаний неразрушающего контроля, а также при разработке компьютерных систем управления технологическим процессом при изготовлении ЭРИ.

Ключевые слова: непараметрические модели, априорная информация, дискретно-непрерывный процесс, диагностика, распознавание образов, оценка Надарая–Ватсона.

ON NONPARAMETRIC DIAGNOSIS AND CONTROL OF THE PROCESS OF ELECTRONICS MANUFACTURE

V. I. Orlov¹, N. A. Sergeeva²

¹OJSC “Proof and Experimental Technical Centre – NPO PM”

20 Molodyezhnaya st., Zheleznogorsk, 662970, Russia. E-mail: itcnpopm@atomlink.ru

²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31 “Krasnoyarskiy Rabochiy” prosp., Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: sergena@list.ru

The paper examines the problems of electronics diagnosis according to the data of non-destructive control. In particular, the results of some types of integrated circuits diagnostics, transistors and diode matrices are considered. As a result of diode matrices processing, different groups of applicable items were revealed. Some numerical results of diagnostic parameters processing are given. In this context, the task analysis of the technological processes of electronics manufacture of the specified quality is analyzed. The non-parametrical models of discrete-continuous

processes for different technological stages of production are given. The sequence of control actions generation for the whole technological cycle is presented as well. The non-parametric estimations, models, algorithms of control and decision-making are based on nonparametric statistics of Nadaray-Watson. The specific non-parametric models and algorithms that can be used as a basis for design of computer systems of diagnostics electronics test results of non-destructive control, as well as in the development of computer control systems of technological process at manufacture of electronics are given.

Keywords: non-parametric model, priori information, discrete-continuous process, diagnostics, pattern recognition, electronics.

Современный космический аппарат – это сложная электронная система, которая, находясь в космосе в течение 10–15 лет, должна сама себя диагностировать, проверять, принимать решение в рамках поставленных задач и выполнять различные возложенные на нее функции. Космос является агрессивной средой, которая обладает различными деструктивными характеристиками. В их числе глубокий вакуум, большой перепад температур, радиация, потоки заряженных частиц и т. д. Бортовая аппаратура в космическом пространстве не подлежит ремонту, именно поэтому она называется неремонтопригодной, и, соответственно, надежность такой аппаратуры должна быть максимальной. Требуемый уровень надежности обеспечивается за счет различных факторов, самым главным из которых является использование высоконадежных электронных компонентов. Космический аппарат (КА) содержит от 100 до 200 тыс. электронных компонентов (ЭКБ). К ним относятся микросхемы, транзисторы, диоды, конденсаторы, реле, кварцевые резонаторы, резисторы и т. д. С каждым годом габаритные размеры электронных компонентов становятся все меньше, а степень интеграции микросхем – все выше. Размеры безвыводных резисторов или конденсаторов достигают 1–2 мм, а вес – доли грамма. Интегральные микросхемы типа процессора обладают возможностями персонального компьютера, который упакован в корпус размерами 5×5 см.

Комплектация бортовой аппаратуры КА высоконадежной ЭКБ является одной из основных задач современной космической отрасли. В первую очередь следует предотвратить попадание в аппаратуру низкосортной фальсифицированной продукции, которая не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к надежности. В рамках решения этой проблемы необходимо обеспечить закупку ЭКБ у проверенных поставщиков, а также проведение входного контроля (ВК), дополнительных отбраковочных испытаний (ДОИ) и разрушающего физического анализа (РФА) ЭКБ.

Особое значение приобретает индивидуальная отбраковка компонентов. Для каждого компонента предусмотрено проведение следующих испытаний:

- электротермотренировки (ЭТТ) или термотренировки (ТТ) с последующим расчетом дрейфа электрических параметров;
- контроля наличия посторонних частиц в подкорпусном пространстве;
- диагностических испытаний (контроля вольт-амперных характеристик (ВАХ), побитовых токов, m -характеристик, токов потребления по шине питания в момент переключения и многих других).

От каждой партии компонентов берутся образцы, на которых проводится РФА. В его составе такие операции, как исследование на растровом электронном микроскопе (РЭМ), контроль подкорпусной влаги, испытания на сдвиг кристалла и обрыв выводов, проверка паяемости и др.

Одним из важнейших этапов комплектации бортовой аппаратуры КА является работа с заводами-изготовителями. Основные характеристики качества и надежности определяются в процессе производства на заводе-изготовителе. В России отсутствует специализированное производство ЭКБ для космической отрасли, как это организовано в США и Западной Европе. Требования к качеству и надежности ЭКБ, используемых в аппаратуре КА, выше, чем к ЭКБ, выпускаемой российскими заводами в настоящее время.

При диагностике электрорадиоизделий (ЭРИ) основное внимание уделяется видам диагностических испытаний и средствам контроля [1]. При проведении диагностического контроля проводятся измерения электрических характеристик при различных видах нагрузок на отдельные элементы и узлы ЭРИ. По результатам измерений вольт-амперных характеристик до и после электротермотренировки диодных матриц 2ДС627А и транзисторов Т866А аА0.339.431 ТУ были проведены компьютерные исследования ЭРИ, которые позволяют моделировать дискретно-непрерывный процесс производства ЭРИ в рамках установленного технологического регламента с целью оптимизации процесса изготовления ЭРИ.

Обработка данных испытаний ЭРИ. Были взяты результаты испытаний ЭРИ, производимые на ОАО ИТЦ НПО ПМ. При корреляционном анализе данных результатов испытаний до и после ЭТТ были построены гистограммы распределений различных электрических параметров. При этом была выявлена следующая тенденция: смещение моды и математического ожидания параметров партии изделий до и после ЭТТ, что привело к возникновению многомодальной (в основном двухмодальной, в отдельных случаях трехмодальной) оценки дрейфа параметров. Дрейф параметров оценивается как разница значений параметра «до» и «после» ЭТТ. При численной обработке проводилось предварительное центрирование и нормирование исходной выборки. Типичный пример гистограммы характеристик представлен на рис. 1.

Построены оценки плотности вероятности распределения измеряемых электрических характеристик (рис. 1, а, б показаны сплошной линией). Анализ результатов показал несогласованность с общепринятыми законами распределений, в частности,

на практике оказывается, что функции плотности вероятности распределения далеки от нормального. Ниже приведены графики оценок плотностей рас-

пределения по данным диагностических испытаний ужесточенного контроля статического коэффициента передачи тока (рис. 2).

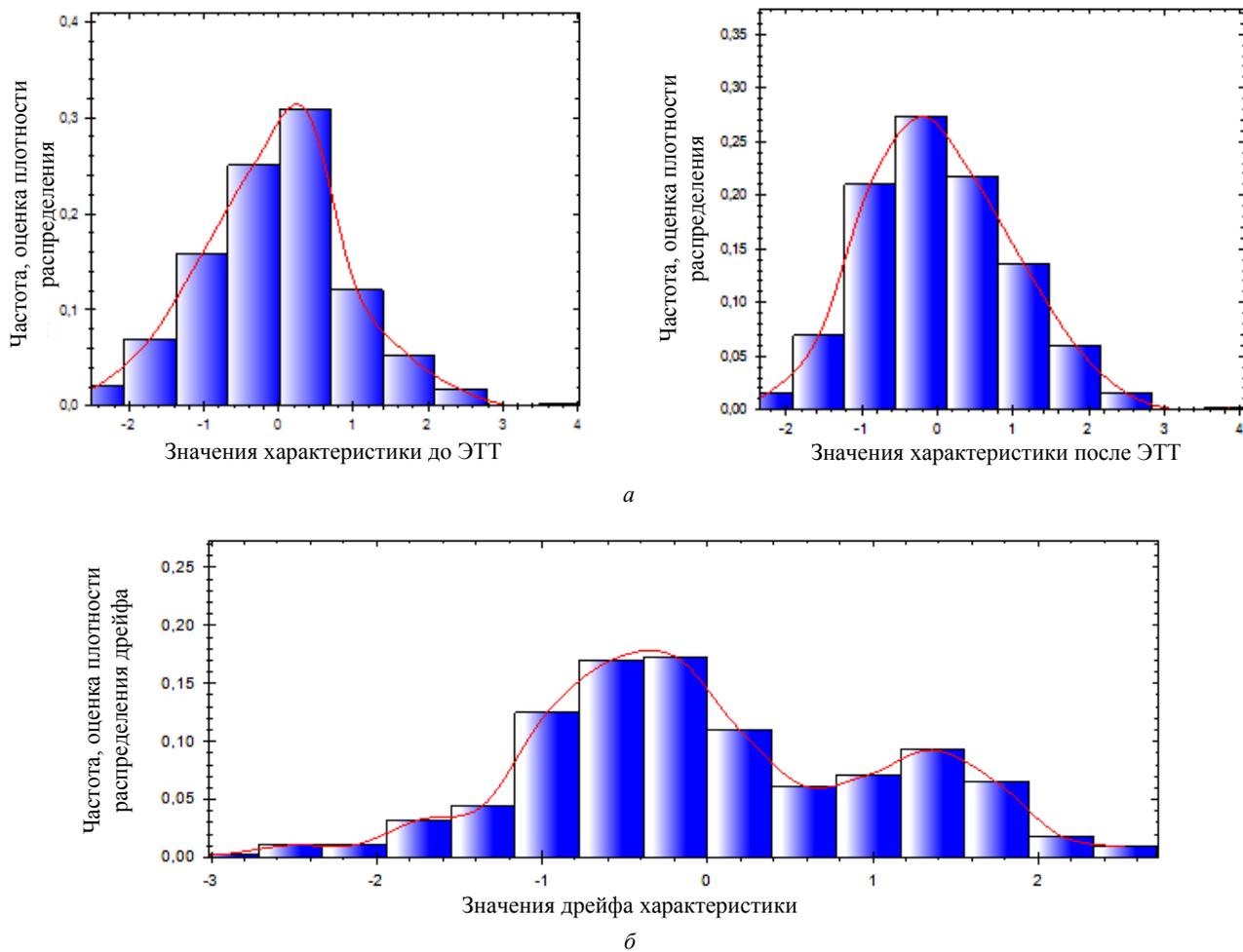


Рис. 1. Оценка плотности распределения прямой ВАХ (ДК, включая УН), режим измерения – 10 мкА (а) и оценка плотности распределения дрейфа (б)

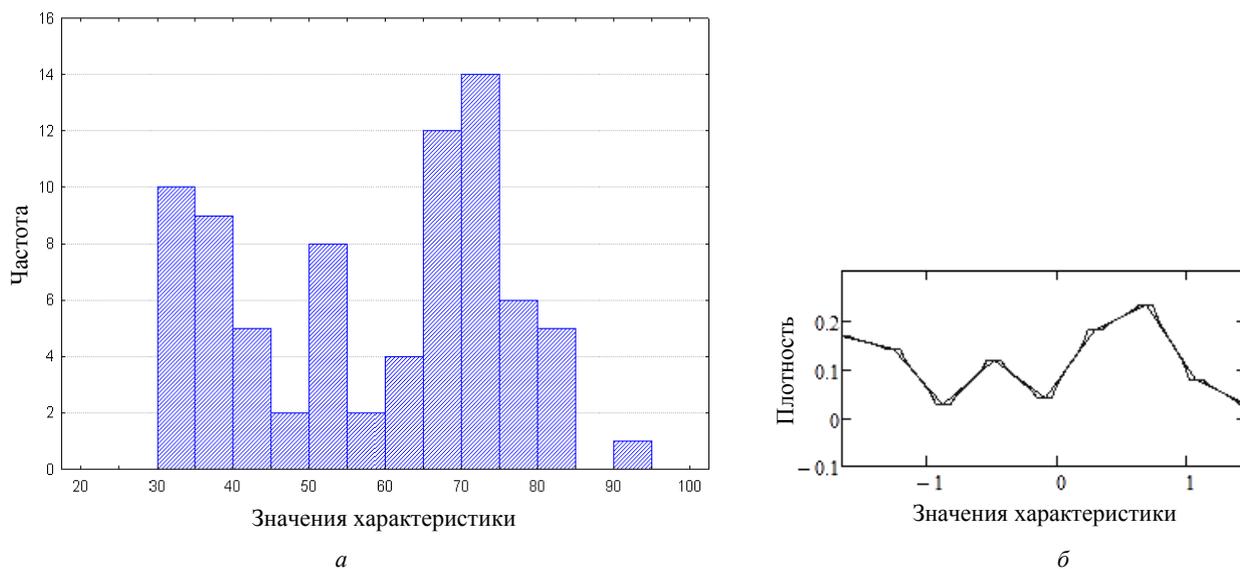


Рис. 2. Гистограмма (а) и оценка плотности распределения статического коэффициента передачи тока (б)

Выявлены зависимости различного характера между числовыми характеристиками. Ниже проиллюстрированы оценки линейного, нелинейного характеров (рис. 3, 4).

На рис. 3 и 4 представлена зависимость показателя напряжения насыщения база эмиттер при различных режимах подачи тока. Здесь по осям отложены значения замеров числовых характеристик центрированные и нормированные, восстановлены стохастические зависимости при использовании непараметрической оценки регрессии Надарая–Ватсона.

Результаты обработки данных и их анализ показывают, что между некоторыми переменными установлена как слабая, так и сильная стохастическая связь. Результаты восстановления зависимостей в отдельных случаях приближаются к линейным, а в других – к нелинейным. Наиболее значительный вывод состоит в том, что в группе «годных» изделий обнаружены отличающиеся классы ЭРИ. Последнее приводит к очень важной практической задаче, связанной с рациональным ведением технологического процесса при производстве ЭРИ.

Моделирование и управления технологическим процессом производства ЭРИ. Технологический процесс может быть представлен в виде схемы, представленной на рис. 5, а.

Весь технологический процесс можно разбить на несколько последовательных подпроцессов $O_v, v = \overline{1, N}$, предусмотренных технологией производства.

Каждый подпроцесс можно рассматривать как отдельный объект и формировать для него контур управления. На каждом этапе определяется задающее воздействие – x_v^* , которое задается оператором. Далее значение задающего воздействия подается в соответствующее управляющее устройство – $УУ_v$. На каждый объект O_v подаются входные переменные следующих типов:

- 1) управляющее воздействие u_v , выработанное управляющим устройством $УУ_v$;
- 2) переменная x_{v-1} с предыдущего этапа технологического процесса, является контролируемым, но неуправляемым входным воздействием для последующего v -го этапа;
- 3) неуправляемая контролируемая входная переменная, действующая на каждый конкретный объект O_v , обозначаемая через $\mu_v, v = \overline{1, N}$.

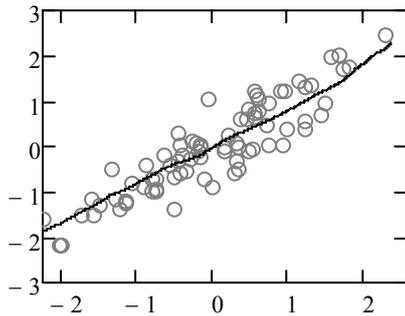


Рис. 3. Линейная зависимость показателей

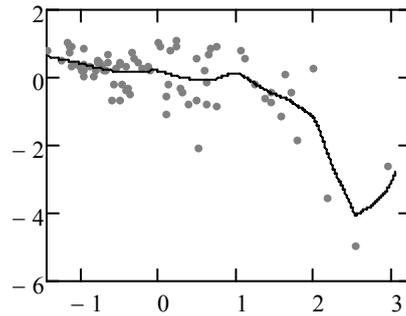


Рис. 4. Нелинейная зависимость показателей

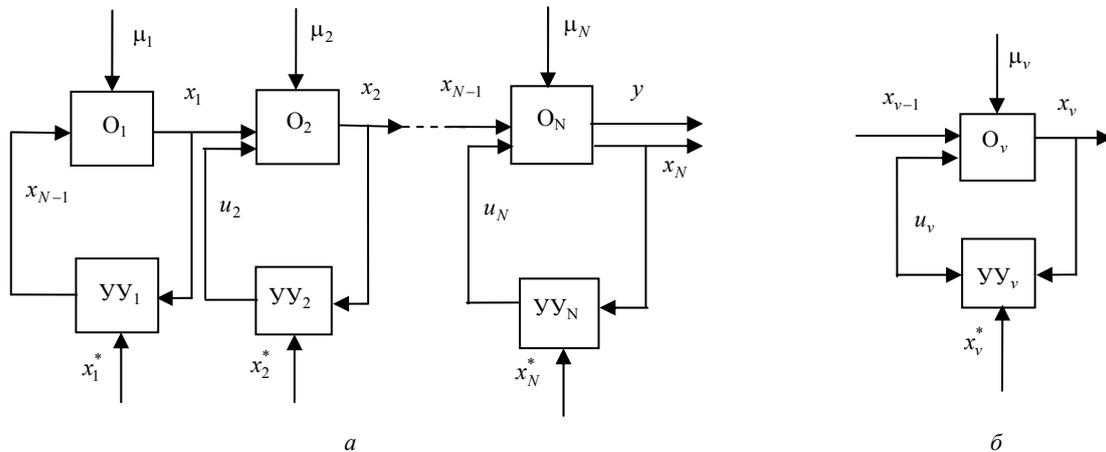


Рис. 5. Схема управления последовательным технологическим процессом (а); фрагмент схемы с обозначением переменных в векторной форме (б)

Входная переменная x_{v-1} является неуправляемой на v -м этапе процесса, по сути имеет смысл переменной $\mu_v, v = \overline{1, N}$. Все переменные процесса в общем случае могут являться векторами с различным числом компонент (рис. 5, б):

$$x_{v-1} = (x_{v-1,1}, \dots, x_{v-1,l_{x_{v-1}}}), \quad \mu_v = (\mu_{v,1}, \dots, \mu_{v,l_{\mu_v}}),$$

$$x_v = (x_{v,1}, \dots, x_{v,l_{x_v}}), \quad u_v = (u_{v,1}, \dots, u_{v,l_{u_v}})$$

где $l_{x_v}, l_{\mu_v}, l_{u_v}$ – размерности соответствующих векторов. Непараметрическая модель подпроцесса (рис. 1, б) при наличии выборки $\{(x_{v-1}^i, x_v^i, u_v^i, \mu_v^i), i = \overline{1, s}\}$ запишется в виде статистики [2]:

$$x_v^s(x_{v-1}, u_v, \mu_v) = \frac{\sum_{i=1}^s x_v^i \cdot \omega(x_{v-1}^i, u_v^i, \mu_v^i; x_{v-1}, u_v, \mu_v)}{\sum_{i=1}^s \omega(x_{v-1}^i, u_v^i, \mu_v^i; x_{v-1}, u_v, \mu_v)}, \quad (1)$$

где принято обозначение:

$$\omega(x_{v-1}^i, u_v^i, \mu_v^i; x_{v-1}, u_v, \mu_v) = \prod_{j=1}^{l_{x_{v-1}}} \Phi\left(\frac{x_{v-1,j} - x_{v-1,j}^i}{C_{x_{v-1}}^s}\right) \times$$

$$\times \prod_{k=1}^{l_{u_v}} \Phi\left(\frac{u_{v,k} - u_{v,k}^i}{C_{u_v}^s}\right) \prod_{m=1}^{l_{\mu_v}} \Phi\left(\frac{\mu_{v,m} - \mu_{v,m}^i}{C_{\mu_m}^s}\right).$$

Здесь $\Phi(\cdot)$ – ядерная функция, а C^s – параметры размытости, обладают известными свойствами сходимости непараметрических оценок [2].

В качестве контролируемых параметров исследуемого процесса могут выступать такие показатели, как прямая вольтамперная характеристика, постоянное прямое напряжение, напряжение насыщения базы эмиттера и т. п. На практике диапазоны значений переменных, фигурирующих в данном технологическом процессе, определяются технологическим регламентом, утвержденным для конкретного предприятия. В некоторых случаях даже соблюдение технологического регламента может привести к выпуску некачественной продукции и даже к браку.

Приведем более подробно возможный вариант «течения» конкретного технологического процесса изготовления ЭРИ для произвольной компоненты вектора x (рис. 6). Реальный технологический процесс будет «протекать» аналогично, только в много-

мерном пространстве, определяемом значениями всех компонент (x, u, μ) .

Приведенная выше модель (1) строится при наличии соответствующих обучающих выборок для каждого объекта $O_v, v = \overline{1, N}$. Подобные модели относятся к классу адаптивных и обучающихся [2] и корректируются по мере вновь поступающих измерений технологических переменных [3]. Практическое использование системы моделей может служить основанием для разработки системы управления и оптимизации дискретно-непрерывным процессом с идентификатором. Основная цель обучающейся системы состоит в том, чтобы найти задающие воздействия последовательности подпроцессов (рис. 5, а) и управляющих устройств $УУ_v, v = \overline{1, N}$, обеспечивающих наиболее рациональное «течение» технологического процесса изготовления ЭРИ. Это открывает реальный путь изготовления ЭРИ заданного качества.

Непараметрический алгоритм управления на каждом цикле производства ЭРИ в общем виде может быть представлен следующим образом [2]:

$$u_v^s(x_{v-1}, x_v^*, \mu_v) = \frac{\sum_{i=1}^s u_v^i \cdot \omega(x_{v-1}^i, \mu_v^i; x_v^*, x_{v-1}, \mu_v)}{\sum_{i=1}^s \omega(x_{v-1}^i, \mu_v^i; x_v^*, x_{v-1}, \mu_v)}, \quad (2)$$

где принято обозначение:

$$\omega(x_{v-1}^i, \mu_v^i; x_v^*, x_{v-1}, \mu_v) =$$

$$= \prod_{j=1}^{l_{x_{v-1}}} \Phi\left(\frac{x_{v,j}^* - x_{v,j}^i}{C_{x_v}^s}\right) \prod_{m=1}^{l_{\mu_v}} \Phi\left(\frac{\mu_{v,m} - \mu_{v,m}^i}{C_{\mu_m}^s}\right).$$

Пусть управляемая переменная x_1 технологического процесса приняла определенное значение из интервала $r_1 \in [a_1^{\min}; a_1^{\max}]$. Заметим, что область r_1 много меньше всего интервала $[a_1^{\min}; a_1^{\max}]$. При этом переменная x_2 , статистически зависимая от показателя x_1 , также принимает определенное значение из области $r_2 \in [a_2^{\min}; a_2^{\max}]$. На рис. 6 стрелки иллюстрируют последовательность и малые диапазоны выбора значений управляющих переменных для конкретного процесса, эту последовательность вместе с указанием малых диапазонов можно интерпретировать как «путь» внутри технологического регламента.

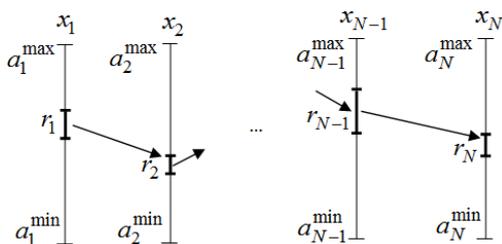


Рис. 6. Диапазоны значений параметров, определяемые технологическим регламентом:
 a_v^{\min}, a_v^{\max} – минимальная и максимальная границы диапазона допустимых значений переменных, определяемые технологическим регламентом; r_v – фактическая область значения параметра, $v = \overline{1, N}$

Для рационального ведения процесса необходимо для задающего воздействия x_v^* каждого подпроцесса определить значение $x_v \in r_v \subset [a_v^{\min}; a_v^{\max}]$, $v = \overline{2, N}$. Представляется целесообразным ведение технологического процесса осуществлять следующим образом: если на v -м этапе изготовления получены значения переменных, принадлежащих интервалу r_v , то на $(v+1)$ -м наиболее рационально, чтобы соответствующие технологические переменные принадлежали не всему интервалу $[a_{v+1}^{\min}; a_{v+1}^{\max}]$, а его подобласти $r_{v+1} \subset [a_{v+1}^{\min}; a_{v+1}^{\max}]$.

Для различных современных производств характерно, что диапазон значений технологических переменных достаточно широк во всех сечениях технологического процесса, хотя и соответствует технологическому регламенту. Поэтому возникает задача, связанная с оптимизацией технологического процесса в рамках технологического регламента.

Основная мысль вышесказанного состоит в обосновании оптимизации технологического процесса изготовления ЭРИ в рамках технологического регламента. Здесь возможны два пути.

Первый из них состоит в том, чтобы разработать на основе исследований, проведенных для каждого конкретного предприятия, более жесткий технологический регламент и, естественно, ему следовать. Естественно, это потребует приобретения соответствующего контрольно-измерительного оборудования и повлечет значительные затраты.

Второй путь состоит в том, чтобы следовать имеющемуся технологическому регламенту, но оптимизировать режим ведения процесса в данном технологическом объекте с учетом фактически проведенной технологической операции на предыдущем объекте. Такой путь значительно более реалистичен, поскольку не требует значительных затрат на создание системы с одной стороны, а с другой – позволяет существенно повысить качество выпускаемой продукции

и уменьшить потери при производстве тех или иных изделий. Для этого необходима разработка и внедрение интеллектуальных компьютерных систем (ИКС) оптимизации технологических режимов «внутри» технологического регламента.

Основные результаты работы состоят в следующем: установлено, что в классе годных изделий в результате диагностических испытаний явно выделяются две, а возможно, и более, группы, которые условно можно назвать «хорошими» и «очень хорошими». Исходя из этого, появляется возможность изготавливать ЭРИ того или иного заданного качества. Но для этого необходимо построение адаптивных и обучающихся моделей, описывающих подпроцесс при переходе из одного состояния в другое. Приведены соответствующие непараметрические модели и алгоритмы выбора управляющих воздействий на каждом этапе.

Библиографические ссылки

1. Данилин Н. С. Диагностика и контроль качества изделий цифровой микроэлектроники. М. : Изд-во стандартов, 1991.
2. Медведев А. В. Непараметрические системы адаптации. Новосибирск : Наука, 1983.
3. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Процессы // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 2 (28). С. 4–9.

References

1. Danilin N. S. *Diagnostika i kontrol' kachestva izdeliy tsifrovoy mikroelektroniki* (Diagnostics and quality control of microelectronics units). Moscow, Izd-vo standartov, 1991, 176 p.
2. Medvedev A. V. *Neparametricheskiye sistemy adaptatsii* (Non-parametric systems of adaptation). Novosibirsk, Nauka, 1983, 174 p.
3. Medvedev A. V. *Vestnic SibGAU*. 2010, № 2 (28), pp. 4–9.

© Орлов В. И., Сергеева Н. А., 2013

УДК 62–50

НОВЫЙ ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНЫХ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТОЧЕК

А. И. Рубан, А. В. Кузнецов

Сибирский федеральный университет
Россия, 660074, Красноярск, ул. Киренского, 26. E-mail: ai-rouban@mail.ru

Предложена новая схема генерирования заданного числа равномерно распределенных точек в гиперкубе и исследованы главные свойства генератора. В генераторе реализовано дополнительное условие: упорядоченные значения каждой координаты всех генерируемых точек находятся на равном расстоянии друг от друга. Этим он отличается от обычного простейшего генератора, в котором каждая координата точки (вектора) определяется датчиком псевдослучайных равномерно распределенных чисел. Получаемые точки становятся более равномерно распределенными в пространстве? и более полно извлекается информация об исследуемых функциях. Генератор применен в алгоритмах поиска глобального экстремума функций многих непрерывных переменных и при статистическом исследовании этих алгоритмов.

Ключевые слова: генератор, случайный, равномерно распределенные точки.