

УДК 621.3.049.77.002:519.24

А.Ю. ДОЛГОВ

*Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, Тирасполь***МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ ПО ВЫБОРКАМ МАЛОГО ОБЪЕМА**

Разработан метод оценки качества контроля по выборкам малого объема для различных решающих правил с учетом экономических потерь от вероятностного характера контроля – коэффициент контролепригодности, позволяющий выбрать наилучший вариант применительно к конкретным обстоятельствам. Наиболее приемлемым методом и решающим правилом контроля из всех исследованных выборочных методов является эквивалентная оперативная характеристика. Ранняя отбраковка пластин во время прохождения технологической цепочки, когда пластина не успела нарастить свою стоимость, дает дополнительный экономический эффект.

Ключевые слова: оценка качества контроля, коэффициент контролепригодности.

Введение

В предыдущей статье [1] мы предложили три решающих правила пооперационного контроля выборочного контроля при малых объемах выборки, которые существенно повышают точность прогнозирования брака на каждой отдельной пластине при производстве кристаллов микросхем, однако не была найдена объективная возможность (качества) этих решающих правил. В данной статье ставится задача отыскания универсального способа оценки контролепригодности каждого метода и каждого решающего правила выборочного контроля.

Теоретические исследования

До настоящего времени каждое решающее правило оценивалось по своим формулам прогнозируемого брака, поэтому эффективность решающих правил не имела объективного критерия для сравнения производственных потерь от вероятностного подхода к оценке качества продукции. Для понимания

сути сходства и различий действий решающих правил достаточно рассмотреть поведение соответствующих характеристик, вычисленных одним и тем же (наилучшим по точности) способом [2]. Это могут быть кумулятивные характеристики, в основу которых положены фиксированные значения определяющих параметров (рис. 1).

Особенностью кумулятивных характеристик является то, что по оси абсцисс отложены генеральные значения количества бракованных кристаллов на множестве пластин, а по оси ординат – доля принятых пластин из контролируемой партии. Так, например, если $q_{\text{ген}} = 10\%$, то при решающем правиле “3 из 5” будут приняты все предъявленные на контроль пластины, при правиле “5 из 5” – только 58,4%, при оперативной характеристике (ОХ) – 95,8%, при эквивалентной оперативной характеристике (ЭОХ) – 88,0%.

При этом может создаться впечатление, что наилучшим решающим правилом является «1», а наихудшим – «2». Однако это не так.

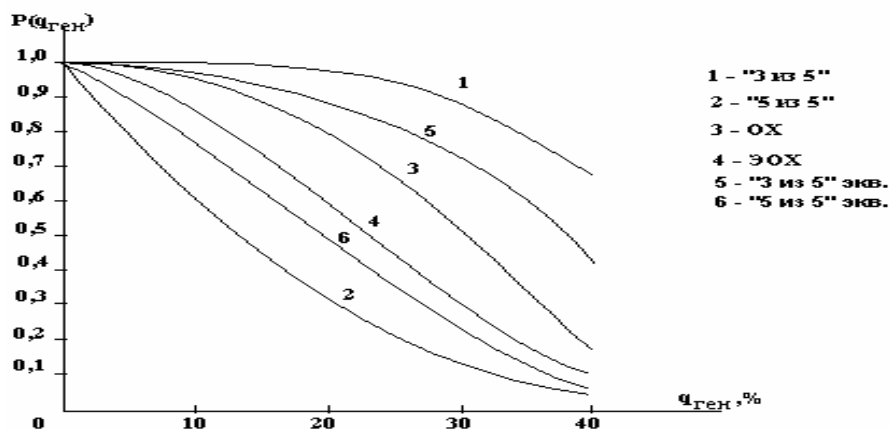


Рис. 1. Кумулятивные характеристики решающих правил контроля при $AQL=10\%$

Чтобы полнее выявить скрытую картину внутренних взаимосвязей следует учесть, что определяющие параметры одного метода контроля сложным образом связаны с определяющими параметрами другого, а каждое решающее правило связано со своей величиной экономических потерь [3]. Последнее обстоятельство можно положить в основу оценки эффективности решающих правил.

На рис. 2 представлена типичная картина плотности вероятности принятых и забракованных пластин, причем площадь перекрытия (экономические потери) пропорциональна ширине зоны неопределенности $q_m - q_0$ оперативной характеристики.



Рис. 2. Плотность распределения пластин от величины прогнозируемого брака

Для объективной оценки экономических потерь (а, значит, эффективности контроля), связанных с использованием этого или иного решающего правила, следует использовать абсолютный и относительный критерии, свободные от связи с методом контроля. При абсолютном критерии оцениваются полученные статистическим методом количества принятых и забракованных пластин и сравниваются с нормативом контроля (табл. 1).

По мере прохождения по технологической цепочке от входа (формирование партии) до выхода (финишный контроль) стоимость каждой пластины увеличивается как за счет стоимости очередной технологической операции, так и за счет отбракованных на промежуточных этапах пластин. В связи с этим различают две стоимости пластин: физическую, то есть накопленную стоимость технологической обработки, и технологическую, когда стоимость отбракованных пластин перераспределяется на оставшиеся. Поскольку практически при любом решающем правиле контроля (кроме идеальной характеристики) существует ложная приемка и ложная браковка, то качество решающего правила можно оценить по минимуму потерь от ложной приемки и ложной браковки. Следует отметить, что для простоты картины мы положили, что ложная приемка обнаруживается (безусловно бракуется) при контроле следующей (i+1)-й операции.

Таблица 1

Состояние принятых и забракованных пластин при $\alpha = 0,10$ и $AQL = 10\%$ ($M_s = 18,4\%$) для различных величин генерального брака

Генеральный (истинный) брак кристаллов, $q_{ген}, \%$	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40
Средн. арифм. выборочного брака кристаллов, $\bar{q}, \%$	1,8	2,5	3,7	5,4	8,1	11,7	16,7	26,3	40,8
Принято пластин, %	99,7	99,5	98,8	97,2	93,8	89,0	67,0	31,0	18,0
Забраковано пластин, %	0,3	0,5	1,2	2,8	6,2	11,0	Ложно		
							33,0	69,0	82,0

Таким образом, качество решающего правила можно оценить по минимуму потерь от ложной приемки и ложной браковки. С этой целью введем коэффициент контролепригодности, который может меняться от 1 (идеальное решающее правило) до 0 (полностью негодное решающее правило). С этой целью введен коэффициент контролепригодности доли стоимости пластин, приходящиеся на них, в следующем виде

$$k = \frac{1 - \frac{P'_{бр i}}{P_{пр i-1}} - \frac{P'_{пр i}}{P_{пр i}}}{1 + \frac{\Delta C_{\phi i+1}}{C_{Ti}} \frac{P'_{пр i}}{P_{пр i}}}, \quad (1)$$

где $P'_{бр i}$ и $P'_{пр i}$ – вероятности ложной браковки и приемки; C_{Ti} – технологическая стоимость пластины; $\Delta C_{\phi i}$ – приращение физической стоимости i-й операции. Коэффициент может меняться от 1 (идеальное решающее правило) до 0 (полностью негодное решающее правило).

Попытаемся количественно оценить эффективность решающих правил. С этой целью был поставлен статистический эксперимент, имитирующий измерения, контроль и разбраковку 500 пластин по одному параметру, причем условия были подобраны так, что с приемочным уровнем $AQL=10\%$ ровно 50% пластин брака были приняты и ровно 50% пластин были забракованы при сплошном 100%-м

контроле. Повторяя процедуру контроля для разных методов и разных решающих правил, получили нужные частоты, по которым с помощью формулы (1) были определены коэффициенты контролепригодности.

В таблице 2 представлены результаты машинного эксперимента по определению эффективности различных методов и решающих правил контроля.

Правило "5 из 5" наряду с ложной приемкой имеет большую ложную браковку, когда напрасные потери безвозмездны. Переход на решающие правила "3 из 5" и "5 из 5" при эквивалентном объе-

ме выборки (или, что то же самое, при расчете СКО по формуле повышенной эффективности) значительно увеличивает коэффициент контролепригодности, т.е. уменьшаются потери от ложной приемки и ложной браковки, но качественно картина остается прежней. Из таблицы 2 отчетливо видно, что наиболее приемлемым методом и решающим правилом контроля из всех выборочных методов является эквивалентная оперативная характеристика, а эквивалентный граничный метод существенно повышает точность принятия решения по сравнению с классическим граничным методом.

Таблица 2

Коэффициенты контролепригодности для различных решающих правил контроля

Методы и решающие правила контроля	Вероятность приемки		Вероятность браковки		Коэф. контроле приг. к
	общая $P_{пр}$	ложная	общая $P_{бр}$	ложная	
Метод границ: "3 из 5"	0,722	0,222	0,278	0	0,686
Метод границ: "3 из 5" эквив.	0,686	0,186	0,314	0	0,723
Метод границ: "5 из 5"	0,409	0,117	0,591	0,208	0,502
Метод границ: "5 из 5" эквив.	0,477	0,082	0,523	0,105	0,605
Оперативная характеристика	0,561	0,080	0,439	0,019	0,835
Эквивалентная оперативная характеристика	0,526	0,040	0,474	0,014	0,908
Сплошной 100%-й контроль	0,500	0	0,500	0	1,000

Выводы

Наиболее приемлемым методом и решающим правилом контроля из всех исследованных выборочных методов является эквивалентная оперативная характеристика. Ранняя отбраковка пластин во время прохождения технологической цепочки, когда пластина не успела нарастить свою стоимость, дает дополнительный экономический эффект. Переход от метода границ к оперативным характеристикам дополнительно снижает стоимость контроля за счет уменьшения доли ложно принятых и ложно забракованных пластин, а ранняя отбраковка пластин во время прохождения технологической цепочки, когда пластина не успела нарастить свою стоимость, дает дополнительную выгоду. В целом уменьшение экономических потерь возможно на 15-17% от конечной стоимости пластин. Кроме того, повышается общая надежность контроля, а использование накопленных надежных результатов контрольных операций для целей математического моделирования ведет к автоматизированным системам управления технологическим процессом.

Литература

1. Долгов, А.Ю. Методы повышения эффективности выборочного контроля при производстве кристаллов микросхем [Текст] / А.Ю. Долгов // Математическое моделирование в образовании, науке и производстве: Мат. VII МНПК, Тирасполь, 8-10 июня 2011 г. – С. 35-36.
2. Долгов, А.Ю. Критерий эффективности выборочного контроля [Текст] / А.Ю. Долгов // Математическое моделирование в образовании, науке и производстве: Мат. VII МНПК, Тирасполь, 8-10 июня 2011 г. – С.35-36.
3. Долгов, Ю.А. Метод повышения точности вычисления параметров выборки малого объема (метод точечных распределений) [Текст] / Ю.А. Долгов, А.Ю. Долгов, Ю.А. Столяренко // Вестник ПГУ – 2010. – Юб. вып. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-т – 2010. – С.232 – 242.

Поступила в редакцию 2.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Р.Б. Дунец, Национальный университет «Львовская политехника», Львов, Украина.

**МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ КОНТРОЛЮ
ПО ВИБІРКАХ МАЛОГО ОБ'ЄМУ***О.Ю. Долгов*

Розроблений метод оцінки якості контролю по вибірках малого об'єму для різних вирішальних правил з урахуванням економічних втрат від імовірнісного характеру контролю - коефіцієнт контролепридатності, що дозволяє вибрати найкращий варіант стосовно конкретних обставин. Найбільш прийнятним методом і вирішальним правилом контролю з усіх досліджених вибіркового методів є еквівалентна оперативна характеристика. Рання відбраковування пластин під час проходження технологічного ланцюжка, коли пластина не встигла наростити свою вартість, дає додатковий економічний ефект.

Ключові слова: оцінка якості контролю, коефіцієнт контролепридатності.

**METHOD OF THE ESTIMATION OF QUALITY
OF CONTROL ON SMALL SIZE SAMPLES***A. Y. Dolgov*

It is developed the method of an estimation of quality control on small size samples for various solving rules taking into account economic losses from likelihood character of control – the factor of checkness, allowing to choose the best variant with reference to concrete circumstances. The most appropriate method and critical control rules in all the investigated sampling is equivalent to the operational character-contrast performance. Early rejection of plates during the process chain when the plate is not managed to increase its value, provides additional economic benefit.

Key words: estimation of quality control, The factor of checkness.

Долгов Алексей Юрьевич – канд. техн. наук, доц. каф. «Информационных технологий и автоматизированного управления производственными процессами» Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко (ПГУ), Тирасполь, Приднестровье, e-mail: dolgov@spsu.ru