

Медведев А.М., Мылов Г.В.

КОНЦЕПЦИЯ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ, ПОСТУПАЮЩИХ В ПРОИЗВОДСТВО

Предложена стратегия входного контроля комплектующих в зависимости от уровня дефектности партий с учетом затрат на устранение последствий попадания дефектных компонентов и материалов в готовую продукцию. Рассматриваются стоимостные характеристики сплошного, выборочного и отсутствия входного контроля материалов и комплектующих, поступающих в производство.

Ключевые слова: надежность, электронные компоненты, производство электроники, контроль.

Цель работы – показать технико-экономическую эффективность различных стратегий входного контроля в условиях, когда затраты на организацию полноценного тестирования электронных компонентов и материалов настолько велики, что приходится задумываться о целесообразности сплошного или выборочного входного контроля или выборе добросовестного поставщика.

Актуальность выбора стратегии входного контроля состоит в том, что производители электронной аппаратуры терпят значительные издержки от дефектных материалов или комплектующих, поступающих в производство. Как правило, эти дефекты непредсказуемо проявляют себя в готовой продукции, что сказывается на ее надежности и выходе годной продукции [1]. Система аттестации по стандартам ИСО 9000 позволяет надеяться на поставки качественных материалов и комплектующих. Производители электронной аппаратуры вынуждены доверять поставщикам, так как капитальные затраты на оснащение входного контроля полноценной тестирующей аппаратурой слишком велики. Производителю легче выбрать добросовестного поставщика компонентов и материалов, чем организовывать их входной контроль. Тем более что наличие в производственной линии внутрисхемного и периферийного контроля компенсирует отсутствие входного контроля за счет выявления дефектных компонентов на стадии производства. Тем не менее, у производителя аппаратуры ответственного назначения возникает желание оценить стратегию входного контроля с позиций надежности и экономики производства [2].

1. Использованные понятия о входном качестве

Под входным качеством понимают качество партий комплектующих изделий и материалов, поступающих в производство. Оценивать качество отдельных партий можно числом дефектных изделий в партии x , либо долей дефектности q .

Доля дефектности традиционно определяется по формуле[2]:

$$q = \frac{x}{N} \quad (1)$$

где N – объем партии.

Входное качество совокупности партий характеризуется функцией $f(x)$ распределения числа дефектных изделий в партиях или функцией $f(q)$ распределения долей дефектности.

Вид распределения дефектных изделий определяется ненадежностью выходного контроля на заводе-изготовителе, временем хранения, разрушающим воздействием различных факторов при транспортировке и хранении и т.д.

Для более подробной характеристики входного качества может быть дополнительно использована дисперсия χ_x^2 или дисперсия долей дефектности [2].

$$\chi_q^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (q_i - \bar{q})^2 \quad (2)$$

При постоянных объемах партии N дисперсии χ_x^2 и χ_q^2 связаны между собой следующей зависимостью

$$\chi_x^2 = N^2 \chi_q^2.$$

Большое значение имеет входной анализ качества комплектующих и материалов, который позволяет производителям аппаратуры выявить недостатки, свойственные компонентам того или иного поставщика, заранее принять необходимые меры для повышения надежности компонентов еще до возможного отказа аппаратуры. Несмотря на наличие выходного контроля продукции на заводах-поставщиках, в аппаратуру могут попасть дефектные компоненты.

2. Назначение и сущность входного контроля

Входной контроль является дополнительной проверкой компонентов и материалов перед использованием их в производстве по параметрам, определяющим их работоспособность и надежность[3]. Это вызвано тем, что отдельные детали могут иметь пониженное качество из-за недобросовестного контроля на выходе, а также возможным продолжительным хранением готовых изделий на складе, сопровождающимся ухудшением качественных показателей. Кроме того, не исключена возможность повреждения компонентов и материалов в процессе транспортировки и т. д.

При входном контроле компоненты подвергаются, по крайней мере, визуальной проверке. При наличии у производителя соответствующей тестирующей аппаратуры и программного обеспечения компоненты подвергаются электрической проверке в сочетании с термотренировкой [3].

При визуальной проверке обращают внимание на наличие на компоненте или упаковке материала отчетливо видимой надписи типа, номинала, допуска, технических условий или сертификата, отсутствие на изделии царапин, сколов, трещин, вмятин, коррозии.

При электрической проверке проверяют соответствие электрических параметров компонентов данным, указанным в пунктах требований и методик технических условий или сертификатов.

Компоненты, прошедшие входной контроль, дополнительно маркируются отличительным знаком. Входной контроль компонентов или материалов может быть 100%-ным или выборочным. Объем выборки n может быть определен по формуле [1]:

$$n = \frac{t_p \sigma^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

где t_p – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности P , определяется по таблице 1 [4]; σ – среднее квадратическое отклонение исследуемой величины, равное:

- для дельта-распределения $\sigma = \frac{\Delta A}{2}$,

- для нормального распределения $\sigma = \frac{\Delta A}{6}$,

- для равномерного распределения $\sigma = \frac{\Delta A}{2\sqrt{3}}$.

Здесь ΔA – разность между верхней и нижней границами исследуемого входного параметра по ТУ; ε – заданная точность определения математического ожидания.

Таблица 1. Зависимость коэффициента t_p от доверительной вероятности P [4].

P	t_p	P	t_p	P	t_p
0,80	1,392	0,88	1,554	0,95	1,960
0,81	1,310	0,89	1,597	0,96	2,053
0,82	1,340	0,90	1,643	0,97	2,169
0,83	1,371	0,91	1,694	0,98	2,25
0,84	1,404	0,92	1,750	0,99	2,576
0,85	1,439	0,93	1,810	0,9973	3,00
0,86	1,475	0,94	1,880	0,999	4,200
0,87	1,513				

Обычно устанавливается следующее правило: если при выборочной проверке компонентов окажутся бракованные изделия, проверке подлежит удвоенное количество изделий из этой партии. В случае выявления при проверке удвоенного количества изделий хотя бы одного бракованного компонента, проверке подвергаются 100% изделий полученной партии [5].

3. Надежность входного контроля

Обеспечение надежности электронной аппаратуры на этапе производства может быть представлено с некоторыми приближениями следующим выражением [6]:

$$H_{np} = H_1 \cdot H_2 \cdot H_3 \quad (4)$$

где H_{np} – надежность производства; H_1 – надежность входного контроля; H_2 – надежность технологического процесса изготовления аппаратуры; H_3 – надежность выходного контроля.

Входной контроль может быть ручным или автоматическим, стопроцентным или выборочным. Надежность входного контроля H_1 будет различной в зависимости от метода и характера контроля. В общем случае вероятность ошибки контроля определяется рядом факторов: методом контроля, скоростью проведения контроля, сроком службы тестирующей аппаратуры, продолжительностью непрерывной работы оператора.

Вероятность ошибки контроля [4]

$$P_n = P_0(v, T) \quad (5)$$

где $v = n/t$ – скорость испытаний; n – количество испытываемых изделий; t – время, потребное на контроль этих изделий; T – возраст тестирующего оборудования.

На рис. 1. показана вероятность ошибки контроля при ручном и автоматическом методах в зависимости от времени [2].

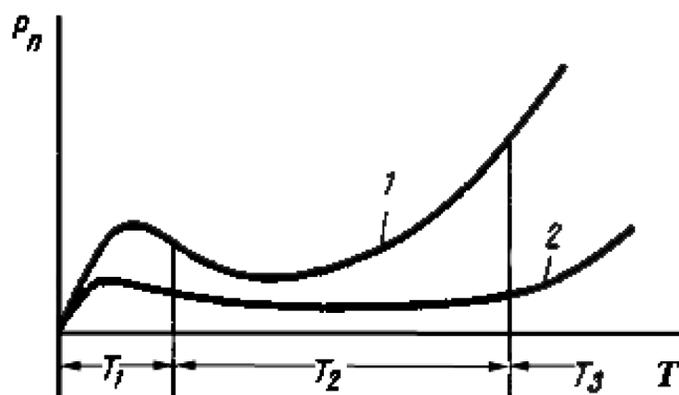


Рис. 1. Вероятность ошибки контроля при ручном и автоматическом методах в зависимости от времени:
1 – ручной контроль; 2 – автоматический контроль

Начальный период контроля T_1 характеризуется большой вероятностью ошибки, которая объясняется пусковым периодом для автоматического метода контроля и освоением процесса контроля оператором для ручного метода.

Основной период автоматического контроля T_2 характеризуется постоянной вероятностью ошибки, что соответствует прямолинейному участку кривой 2 на рис. 1. Для ручного метода характерно возрастание вероятности ошибки по мере утомления оператора, о чем говорит возрастающий участок кривой 1 на рис. 1.

Последний период контроля T_3 характеризуется резким возрастанием вероятности ошибки из-за выработки срока службы тестирующей аппаратуры и утомляемости оператора.

Вероятность ошибки контроля изделий объемом n можно определить как [4]

$$P_n = \int_0^n P_0(v, T) dn \quad (6)$$

где $n = vt$, P_0 – определяется методом контроля.

При стопроцентном контроле надежность контроля будет

$$H_n = 1 - P_n = 1 - \int_0^N P_0(v, T) dn \quad (7)$$

где N – количество изделий в контролируемой партии.

Надежность выборочного контроля определяется соотношением:

$$H_{n\epsilon} = H_n \cdot H'_\epsilon = (1 - P_n)(1 - P'_\epsilon) \quad (8)$$

где H'_ϵ – надежность методики выборочного контроля; H_n – надежность контроля непосредственно выборки; P'_ϵ – вероятность брака при данной методике контроля; P_n – вероятность брака в выборке.

Исходя из условия

$$P_n \ll 1; P'_\epsilon \ll 1,$$

для уравнения (8) получим

$$H'_\epsilon \approx 1 - P_n - P'_\epsilon$$

Учитывая (7) и (8), получим формулу надежности выборочного контроля

$$H_{n\epsilon} = 1 - P'_{\epsilon,0}(n_1) - \int_0^{n_1} P_0(v, T) dn \quad (9)$$

где n_1 – величина выборки; $P'_{\epsilon,0}(n_1)$ – вероятность брака при данной методике испытаний, которая является функцией от величины выборки.

Определим оптимальное значение, $H_{n\epsilon}$. При этом рассмотрим два частных случая:

а) $P_0(v, T) = \text{const} = P_0$. Этот случай соответствует автоматическому контролю на горизонтальном участке кривой $P = f(T)$;

б) $P(n) = a/n$; $P_0 = bn$. Этот случай соответствует ручному контролю или же малонадежной работе тестирующих устройств. Коэффициент b характеризует наклон кривой для ручного контроля на участке T_2 (см. рис. 1) и определяется непосредственным измерением в конкретных условиях

$$b = k/Tm,$$

где k – число ошибок контроля за последний промежуток времени; m – общее число ошибок контроля за время T .

Значение $P'_{\epsilon,0}(n_1)$ определяют из соображений надежности выборочного объема

$$P'_{\epsilon,0} = a/n_1$$

где $a = 0,25 \dots 1$ в зависимости от выбранной надежности испытаний.

Для выборочного автоматического контроля получим следующее выражение надежности [2]:

$$H_{n\phi} = 1 - \frac{a}{n_1} - P_{\phi.0} n_1 \quad (10)$$

Оптимальное значение надежности автоматического входного контроля получим из условий

$$\frac{\partial H_{n\phi}}{\partial n_1} = 0; n_1 = \sqrt{\frac{a}{P_{\phi.0}}}; H_{n\phi \max} = 1 - 2\sqrt{aP_{\phi.0}}$$

Для выборочного ручного контроля или же малонадежной конструкции контрольно-измерительных средств выражение надежности контроля принимает вид

$$H_{n\phi} = 1 - \frac{a}{n_1} - \frac{bn_1^2}{2} \quad (11)$$

Оптимальное значение надежности ручного входного контроля определяется из условий:

$$\frac{\partial H_{n\phi}(n)}{\partial n_1} = 0; n_1 = \sqrt[3]{\frac{a}{b}}; H_{n\phi \max} = 1 - \frac{3}{2} b^{\frac{1}{3}} a^{\frac{2}{3}}$$

При стопроцентном контроле выражение надежности имеет вид:

- для автоматического контроля $H_n = 1 - P_{\phi} N$;
- для ручного контроля $H_n = 1 - bN^2/2$.

На рис. 2 показаны зоны надежности выборочного и стопроцентного контроля, справедливые как для автоматического, так и для ручного методов контроля. Имеется характерная первая зона, где большей надежностью обладает стопроцентный контроль и характерная вторая зона, где большей надежностью обладает выборочный контроль.

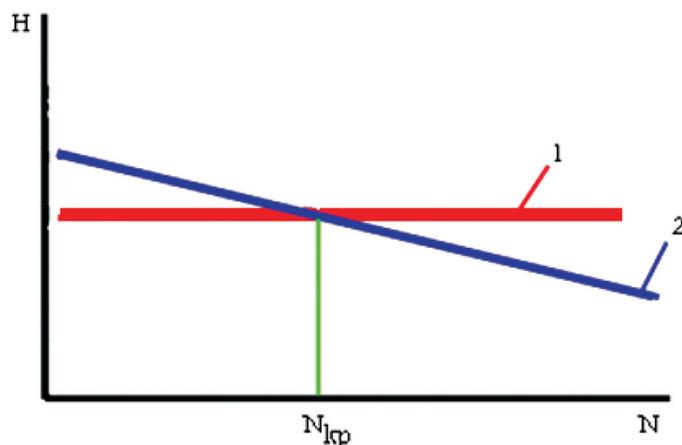


Рис. 2. Зоны надежности сплошного (1) и выборочного (2) тестирования

Для определения количества изделий $N_{кр}$, меньше которого надежность выше стопроцентного контроля и больше которого надежность выше выборочного контроля, воспользуемся условием

$$H_{n \max} = H_n$$

Тогда получим для автоматического метода контроля

$$N_{кр} = 2 \frac{\sqrt{aP} a_0}{P_0}.$$

Для ручного способа контроля

$$N_{кр} = 3 \sqrt{\frac{a}{b}}.$$

4. Стоимость входного контроля

Экономическая оценка входного контроля дает возможность получить соотношения между стоимостью контроля поступающих в производство компонентов и материалов и затратами на замену бракованных элементов, попавших в аппаратуру или ремонта для устранения дефектов материалов [6]. Тем самым решается вопрос о целесообразности применения того или иного вида входного контроля. Такой контроль целесообразен для компонентов, не обеспечивающих в значительной степени надежности параметров изготавливаемой аппаратуры.

Введем понятие полной стоимости, под которой будем понимать сумму затрат на входной контроль и на устранение бракованных элементов в аппаратуре.

Определение полной стоимости дадим для трех возможных практических случаев.

5. Отсутствие входного контроля

Полная стоимость равна стоимости работ по устранению бракованных элементов, попавших в аппаратуру или ремонта монтажных подложек для устранения дефектов материалов. Она равна произведению количества брака в партии деталей и цеховых затрат на извлечение бракованной детали из собранного изделия и замену ее исправной деталью или стоимость ремонта:

$$C'_0 = PNC_R \quad (12)$$

где P – доля или вероятность брака среди поступающих деталей; C_R – затраты на замену одной детали; N – общее число деталей.

6. Стопроцентный контроль

Полная стоимость равна сумме затрат на контроль и отбраковку деталей. Число пропущенных дефектных деталей определяется квалификацией контролера и качеством контрольно-измерительной аппаратуры. Полная стоимость в этом случае определяется уравнением

$$C_0'' = NCT + K_1PNC_R \quad (13)$$

где C_T – стоимость контроля одной детали; K_1 – доля брака, пропущенного при стопроцентном контроле.

7. Выборочный контроль

Полная стоимость в случае выборочного контроля состоит из двух частей:

Стоимость приемки партии деталей на основе выборки, которая может быть представлена следующим выражением:

$$C = P_A[nC_T + (N - n)PC_R + nK_2PC_R] \quad (14)$$

где nC_T – стоимость контроля выборки, состоящей из n деталей; $(N - n)PC_R$ – стоимость замены бракованных деталей из непроверяемой части партии; nK_2PC_R – стоимость замены бракованных деталей из проверяемой части партии (выборке), пропущенных контролером; P_A – вероятность приемки партии.

Стоимость отбракованной партии равняется стоимости контроля отобранных деталей, умноженной на вероятность отбраковки $1 - P_A$.

Выражение для ожидаемой полной стоимости отбракованных партий будет иметь вид

$$nC_T(1 - P_A)/P_A$$

Полная стоимость для случая выборочного контроля определяется выражением

$$C''' = P_A[nC_T + (N - n)PC_R + nK_2PC_R] + nC_T(1 - P_A)/P_A \quad (15)$$

8. Графическое выражение стоимости контроля.

Пользуясь выведенными уравнениями, можно построить графики полной стоимости контроля в зависимости от качества данной партии, характеризуемой величиной P , т. е. долей брака.

Графики полной стоимости контроля показаны на рис. 3.

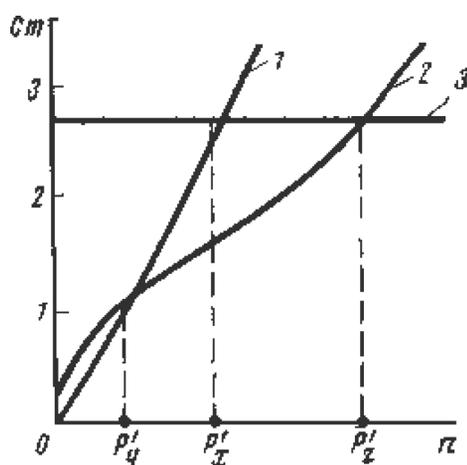


Рис. 3. Графики полной стоимости различных методов контроля:

1 – отсутствие входного контроля; 2 – выборочный контроль; 3 – стопроцентный контроль

График полной стоимости для стопроцентного контроля (3) представляет собой почти горизонтальную прямую линию, слегка уменьшающуюся в зависимости от значения K и P .

График полной стоимости при отсутствии входного контроля компонентов (1) представляет собой наклонную прямую линию, проходящую через начало координат.

При $P = 0$ полная стоимость равна нулю, а с ухудшением качества комплектующих деталей полная стоимость растет линейно. Интенсивность роста полной стоимости зависит от общего числа деталей и уровня затрат на их замену.

График полной стоимости для выборочного контроля (2) имеет нелинейный характер. При $P = 0$ стоимость определяется значением nC_T , при увеличении P она нарастает, но менее интенсивно, чем при отсутствии контроля.

По графикам полной стоимости можно найти оптимальный по стоимости вариант входного контроля комплектующих и материалов.

Способ контроля комплектующих деталей будет определяться размером партии N и долей брака P , содержащейся в этой партии, а также рядом других параметров, которые могут быть либо заданными, например C и C_R , либо представляют собой функцию от N или P , например n или P_A .

Доля брака P обычно бывает неизвестной до проверки партии и поэтому следует при оценке этой величины ориентироваться на статистические данные, полученные ранее [6].

Оптимальная оценка контроля может быть получена также аналитическим способом, без графических построений. Для этого должны быть определены критические точки, т. е. такие точки, в которых одна схема контроля становится дешевле другой. Обозначим эти критические точки через P'_x, P'_y, P'_t .

9. Отсутствие входного контроля и стопроцентный контроль

Критическая точка P'_x пересечения кривых полной стоимости при отсутствии контроля и стопроцентного контроля определяется из уравнений (12) и (13):

$$P'_x n C_R = n C_T + K_1 P' n C_R$$

$$P'_x = \frac{C_T}{C_R(1 - K_1)} \quad (16)$$

Стопроцентный контроль будет экономичнее, когда уровень качества поступающих деталей P' больше значения P'_x , и наоборот, при P' меньше значения P'_x экономичнее отсутствие входного контроля.

10. Отсутствие входного контроля и выборочный контроль

Критическая точка P'_y пересечения кривых полной стоимости при отсутствии контроля и выборочного контроля определяется из уравнения

$$P' n C_R = P_A [n C_T + (N - n) P / C_R + K_2 n P / C_R] + [n C_T (1 - P_A)] / P_A$$

$$P'_y = \frac{n C_T}{C_R [N - P_A (N - n + n K_2)]} \quad (17)$$

Вероятность приемки партии P_A выражается в функции P' и n может быть определена с учетом формулы Пуассона [4]

$$P_r = \frac{(nP')^r}{r!} e^{-nP'} \quad (18)$$

где n – количество выбранных для контроля деталей; P' – процент брака; P_r – вероятность того, что в числе отобранных деталей будет r бракованных.

Очевидно, что P'_y необходимо вычислять соответственно рассматриваемому конкретному плану выборки ввиду того, что для каждого плана выборки значения P_A будут различными. Порядок определения P'_y следующий:

1. Намечают план выборки, устанавливают количество выбираемых деталей n , размер партии N и критерий для приемки AC . Под критерием приемки понимается минимальное допустимое количество забракованных деталей из числа деталей, отобранных для контроля. Значение P_A , соответствующее любому значению AC , может быть получено из таблиц распределения Пуассона с учетом предполагаемого значения P' : P_A . Оно равно сумме всех P_r вплоть до $r = AC$.

2. Определяют P'_y с учетом найденного значения P_A .

3. Отсутствие входного контроля будет экономичнее при предполагаемом значении P' меньшем P'_y . Когда P' больше P'_y , экономичнее оказывается способ выборочного контроля.

11. Стопроцентный контроль и выборочный контроль

Критическая точка P'_y пересечения кривых полной стоимости при стопроцентном и выборочном контроле определяется из уравнения

$$NC_T + K_1 P' NC_R = P_A [nC_T + (N-n)P' C_R + k_2 n P' C_R] + [nC_T (1 - P_A)] / P_A,$$

Отсюда

$$P' = \frac{P_A C_T [N - P_A n + n] - n C_T}{P_A^2 C_R [(N - n) + K_2 n] - P_A C_R K_1 N}.$$

Значение P'_z получают таким же образом, как и в предыдущем случае. Когда значение P' меньше предполагаемого значения P'_z то выгоднее метод выборочного контроля.

Когда P' больше P'_z , более экономичным будет метод стопроцентного контроля.

12. Оптимальная стратегия входного контроля

В настоящее время вопросы качества и надежности электронной аппаратуры приобретают исключительно острый характер, как для изготовителей компонентов, так и для их потребителей. Наибольшее количество споров возникает в связи с тем, что производитель аппаратуры вынужден проводить значительный объем дорогих и длительных испытаний поступающих в производство

компонентов в рамках мероприятий по входному контролю [6]. Эти испытания повторяют процедуры уже проведенных испытаний на предприятии-поставщике, которое израсходовало на это весьма значительные средства. Однако степень такого дублирования постоянно должна уменьшаться. Это обусловлено процессом непрерывного повышения качества компонентов, благодаря чему появляется возможность для более тесного сотрудничества между поставщиком и потребителем в решении проблемы исключительной важности, а именно сначала резкого сокращения объема операций по входному контролю компонентов и материалов, а затем полного отказа от него.

Для того, чтобы уменьшить затраты на испытания и свести объем выборки к минимуму, критерии приемки целесообразно свести к тому, чтобы единичный отказ вызывал забракование всей партии. В тех случаях, когда уровень отказов компонентов на входном контроле оказывается меньше 100 на миллион, то есть 0,01%, входной контроль обычно оказывается экономически нецелесообразным. Экономичнее для подавляющей части производств отбраковывать столь редкие случаи отказов компонентов на этапах испытаний узлов, блоков или даже аппаратуры [7,8].

Заключение

Расчеты показывают неочевидные результаты в оценке целесообразности сплошного, выборочного и отсутствия контроля. Конечно, в реальных быстро меняющихся условиях производства затруднительно прибегать к вышеприведенным расчетам. Но выводы, которые можно сделать на основе этих расчетов, позволяют осознанно строить стратегию и тактику контроля в условиях неопределенности качества компонентов и материалов, поступающих в производство.

Литература

1. ГОСТ 24297-87. Входной контроль продукции. Основные положения.
2. **Бекишев А.П., Медведев А.М.** Входной контроль электронных компонентов. / Компоненты и технологии. 2008. № 10. С. 161-164.
3. **Федоров В.К., Сергеев Н.П., Кондрашин Ф.Ф.** Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств. Москва: Техносфера, 2005. – 504 с.
4. **Фролов А.Д.** Теоретические основы конструирования и надежности радиоэлектронной аппаратуры. М.: Высшая школа, 1970. С. 457.
5. **Ануфриев Д.Л.** Конструкционные методы повышения надежности интегральных схем: учеб. Пособие. Минск: Интегралполиграф, 2007. – 2007. – 264 с.
6. **Горлов М., Строганов А., Андреев А.** Входной контроль полупроводниковых изделий. / СНІР NEWS, № 3(66). Март, 2002. С. 40-46.
7. **Медведев А., Можаров В., Мылов Г.** Печатные платы. Современное состояние базовых материалов // Электроника. Наука. Технология. Бизнес. 2011, № 6. С. 148 – 162.
8. Технологии в производстве электроники. Часть III. Гибкие печатные платы / Под общей редакцией А.М. Медведева и Г.В. Мылова – М.: «Группа ИДТ», 2008. – 488 с., ил., табл.