

# Испытания электротехнических и электронных изделий

Дмитрий Гаманюк (г. Саратов)

Автор предлагает способ определения объёма выборки изделий в рамках периодических испытаний для оценки их качества и надёжности на основе теории вероятностей и теоремы Байеса.

## ИСПЫТАНИЯ КАК ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ

Под качеством изделий будем понимать их соответствие всем установленным заказчиком техническим требованиям в течение всего назначенного срока службы.

В данной статье рассматриваются вопросы испытаний законченных изделий, имеющих собственные технические условия (ТУ), но входящих в более крупный, сопряжённый агрегат.

Наиболее достоверную оценку качества можно получить на основе анализа эксплуатации изделия, учёта всех его отказов и дефектов. Однако на практике это невозможно в связи с большими временными затратами, не говоря даже о том, что в эксплуатацию необходимо отправлять уже вполне работоспособное и надёжное изделие. Поэтому условия, при которых происходит использование изделия, воссоздаются на полигонах и в лабораториях.

Изделия подвергаются испытаниям – проверке работоспособности до, во время и после различных климатических и механических, а иногда и специальных воздействий. Испытания продуктов, реализованных в «железе», проводятся на этапах как разработки, так и серийного выпуска.

На этапе разработки проводятся так называемые конструкторские испытания – на соответствие изделия требованиям технического задания заказчика. Такие испытания называются предварительными, они моделируют наиболее жёсткие из всех возможных условия эксплуатации и проводятся по максимально расширенной программе. Полученные результаты испытаний (положительные или отрицательные) позволяют судить о степени достижения целей разработки – создания комплекта конструкторской документации (КД)

изделия, отвечающего требованиям заказчика. Необходимо отметить, что по существующим ГОСТам несоответствие хотя бы одному пункту технического задания означает отрицательные результаты испытаний и, следовательно, отдельных этапов проектирования.

Для повышения достоверности результатов конструкторские испытания проводятся на всех опытных образцах специально изготовленной для этого установочной партии. В зависимости от сложности изделия и затратности производства, испытаниям подвергаются от одного до пяти изделий.

На этапе разработки, кроме того, качество изделия подтверждается – на основе теоретических расчётов – соответствием требуемому уровню безотказности. Здесь всё ясно: в техническом задании указаны условия, которым должно соответствовать изделие, есть образцы и есть совокупность воздействий, которые должно выдержать изделие. Методики таких расчётов, как правило, закреплены соответствующими отраслевыми стандартами.

Если модернизация изделия не повлекла сильных изменений в конструкции, что определяется совместным решением заказчика и разработчика изделия, то организуются и проводятся так называемые типовые испытания. Такие испытания по своим целям эквивалентны конструкторским испытаниям и проводятся на ограниченном числе образцов (как правило, двух).

На этапе серийного выпуска необходимо оценивать не только достоверность конструкторской документации с определением возможности дальнейшего выпуска изделия по её действующей редакции, но и стабильность и ликвидность технологического процесса изготовления.

Двойственная задача оценки качества предполагает необходимость двух видов испытаний: приёмочных – для оценки соответствия основных параметров изделия требованиям технической документации – и оценочных – для оценки стабильности технологического процесса и возможности выпуска изделия по существующей документации. Последние испытания называют периодическими. Приёмочные испытания проводятся по сравнительно небольшой программе, включающей в себя проверки соответствия основополагающим техническим требованиям на изделие. Причём объём выборок для изделий радиоэлектроники (функционально самостоятельные приборы: вычислители, регуляторы, корректирующие контуры и т.д.) составляет 100% от предъявляемой партии. Это определяется техническими условиями на изделие, требования в которые закладываются на основе технического задания заказчика.

Оценочные испытания, без периодического проведения которых нормативные документы системы качества производства продукции в России не разрешают её поставку государственным заказчикам, физически невозможно проводить на всей изготовленной партии. Такие испытания по объёму и количеству проверяемых параметров приближаются к конструкторским испытаниям и принципиально должны проводиться на некоторой выборке из всего объёма предъявляемой партии. Данные соображения обусловлены, во-первых, большим временем проведения испытаний – иногда до нескольких месяцев; во-вторых, значительной выработкой ресурса из всего назначенного в конструкторской документации; в-третьих, огромной стоимостью таких испытаний.

Вот на этой стадии и начинают проявляться некоторые затруднения. Сколько изделий из партии подвергнуть оценочным испытаниям? Как после испытаний будут использоваться изделия, выработавшие значительную часть своего ресурса? Кто

заплатит за изделия, идущие на испытания и за работы по обеспечению самих испытаний? Впрочем, последний вопрос решается легко – платит заказчик аппаратуры, а стоимость «испытываемых» изделий «разбрасывается» на всю аппаратуру заказанной партии.

Во время «холодной войны» с Западом и, как следствие, стабильного и отлаженного выпуска продукции, оценочные испытания проводились на определённом количестве изделий за конкретные периоды (полугодие, квартал). При этом прошедшие с положительными результатами испытания и начавшиеся очередные являлись законным основанием для начала отгрузки аппаратуры потребителям. Количество же испытываемых изделий (как правило, почему-то два) устанавливалось в технических условиях.

В настоящее время периодически повторяющийся выпуск продукции – событие зачастую неординарное. Заказы предприятиям поступают от случая к случаю, между выпуском изделий часто проходит значительное время. Наверное, так и должно быть – спрос и предложение формируется рынком, – но есть в этом и отрицательные стороны. Во время простоя конструкторы, технологи, рабочие теряют квалификацию, оборудование не поддерживается в должном состоянии, КД изделия не сопровождают конструкторы, и оно, не подвергаясь локальным улучшениям, перестаёт соответствовать требованиям времени и во многом утрачивает возможность доминировать на рынке.

Печально и то, что предприятие в целом при этом теряет способность в нужное время, в угрожаемый и особый период (война) выдать «на гора» достаточное количество требуемых изделий. Предприятие по объективным причинам перестаёт быть серийным.

При прерывистом выпуске продукции испытания теперь разрешается проводить от объёма выпускаемой продукции. Однако сколько конкретно отбирать изделий для оценочных испытаний и как ими распорядиться впоследствии – на это часто ни в какой действующей нормативной документации нет ответа.

ГОСТ 2.114, регламентирующий состав и содержание ТУ – основного до-

кумента любого мало-мальски важного изделия, – предписывает разработчикам устанавливать программы испытаний, периодичность их проведения, количество контролируемых образцов и перечень контролируемых параметров. Однако традиционное назначение двух изделий один раз в полгода может привести к экономическому провалу проекта. Действительно, допустим, заказчик нуждается в двух изделиях. Тогда ещё два необходимо изготовить для оценочных испытаний. Это сразу поднимает стоимость аппаратуры в два раза, что, как правило, заставляет заказчика искать иные пути. Требование нормативных документов устанавливать количество испытываемых образцов в ТУ или контрактах на поставку приводит к тому, что «у семи нянек дитя оказывается без глаза». В ТУ ссылаются на контракт, в контракте – на ТУ.

Таким образом, существует задача обоснования количества изделий, подвергаемых приёмочным и оценочным испытаниям и отбираемых из всей предъявляемой партии или из числа

изготовленных в один зачётный период.

Встаёт проблемный вопрос отсутствия строгого и нормативно закреплённого метода определения объёма выборки для проведения, в первую очередь, периодических испытаний изделий рассматриваемого типа.

Требования к оценке результатов периодических испытаний таковы, что несоответствие изделия хотя бы одному требованию, заложенному в ТУ, однозначно заставляет считать их результаты отрицательными. Таким образом, по исправному функционированию малой части изготовленной партии будет оцениваться соответствие всей данной группы изделий.

Данное обстоятельство может привести к четырём возможным исходам:

- 1) из дефектной партии будут выбраны дефектные изделия, испытания будут отрицательными, а партия забракована;
- 2) из соответствующей ТУ партии будут выбраны исправные изделия, испытания пройдут с положительными результатами, а партия принята и поставлена потребителю;

- 3) из дефектной партии будут выбраны исправные изделия, испытания пройдут с положительными результатами, партия будет принята и поставлена потребителю;
- 4) из соответствующей в целом ТУ партии будут выбраны дефектные изделия, испытания будут отрицательными, а партия забракована.

Последние два исхода хотя и возможны, но крайне нежелательны. Возможность наступления этих исходов предопределена статистически-вероятностным подходом к оценке качества партии по некоторой выборке. Третий из возможных исходов получил название «риск потребителя», а четвёртый – «риск поставщика».

Для определения количественной формы таких рисков в техническом задании на разработку изделия заказчиком устанавливаются численные значения вероятностей наступления исходов 3 и 4. Риск поставщика традиционно обозначается через  $\alpha$ , риск потребителя – через  $\beta$ .

Как было показано выше, периодические испытания проводятся в том числе и для подтверждения соответствия изделий всем установленным заказчиком требованиям в течение всего срока службы. Такое соответствие и определяется как качество изделия. ГОСТ [5] определяет качество как степень соответствия требованиям совокупности присущих характеристик. Соответствие может быть либо может не быть. Степень этого соответствия может быть большой или маленькой. В любом случае это больше похоже на качественную оценку продукта.

Необходимость строгого аналитического обоснования количества изделий, подвергаемых испытаниям, неизбежно должна привести к рассмотрению характеристик, имеющих реальные количественные значения. Определение же качества изделия как понятия, скорее, похоже на философскую категорию, чем на количественную меру описания состояния продукта.

В этой связи интересно будет рассмотреть надёжность как характеристику качества изделий.

### **Надёжность как переход к количественной мере оценки качества изделий**

Надёжность – это свойство рассматриваемых изделий выполнять на

требуемом уровне возложенные на них функции в определённых условиях и в течение заданного промежутка времени, установленных в ТУ [2]. Официальные документы [4] дают следующее определение надёжности: надёжность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Применительно к рассматриваемым изделиям можно сказать, что надёжность – это свойство изделия сохранять значения своих выходных параметров в заданных пределах, установленных в ТУ в течение также установленного срока функционирования [3]. Это более «конкретный», по сравнению с качеством, показатель, характеризующий изделия. Здесь уже присутствуют требования и к определённому значению выдаваемых изделием параметров, и к условиям, в которых должно функционировать изделие, и ко времени этого процесса. Все эти основополагающие моменты в определении надёжности описываются количественным языком. Следовательно, возможна формализация как процесса расчёта, сравнения, так и оценки надёжности. Это позволяет сравнивать уровни надёжности аппаратуры разного функционального назначения, устанавливать степень её надёжности.

Хотя понятие «надёжность» также следует отнести к качественным характеристикам изделия, существуют и вполне строгие её количественные оценки. Это связано с тем, что заказчик аппаратуры стремится получить изделие с вполне конкретными, строго определёнными свойствами, которые возможно установить только на количественном уровне. Именно поэтому как на этапе проектирования, изготовления, испытания опытных образцов, так и на этапе эксплуатации производится аналитическая оценка надёжности с целью определения её соответствия заданным в техническом задании требованиям. Необходимость и возможность аналитического определения надёжности ещё на этапе проектирования, как будет показано ниже, и позволит реализовать способ определения объёма выборки изделий, подвергаемых испытаниям.

Строго говоря, определяется не надёжность, а её количественные показатели. Выше, как и в [1], было показано, что оценка качества изделий принципиально возможна с помощью двух подходов: вероятностного и статистического. Причём первый подход реализуем на этапе предварительной оценки надёжности, т.е. в ходе проектирования, а второй – по результатам испытаний и эксплуатации. Таким образом, при количественном анализе качества может быть использован аппарат математической статистики и теории вероятностей.

Итак, основными количественными показателями надёжности являются вероятность безотказной работы (ВБР) и вероятность отказа [2, 3].

Вероятность безотказной работы – это вероятность того, что за установленное время наработки (от 0 до  $t$ ) в заданных условиях эксплуатации не произойдёт ни одного отказа РЭА:

$$p(t) = P\{T_{\text{ср}} > t\},$$

где  $T_{\text{ср}}$  – среднее время наработки до отказа.

Математическая статистика определяет вероятность безотказной работы по результатам испытаний (эксплуатации)  $N_0$  количества образцов:

$$p(t) = 1 - \frac{n(t)}{N_0},$$

где  $n(t)$  – число изделий, отказавших за время  $t$ .

Отказ как событие является противоположным безотказному функционированию, поэтому вероятность отказа является величиной, противоположной вероятности безотказной работой. В соответствии с законами теории вероятностей, вероятность отказа:

$$q(t) = 1 - p(t) = P\{T_{\text{ср}} \leq t\}.$$

Статистическая формула для определения вероятности отказа:

$$q(t) = 1 - p(t) = \frac{n(t)}{N_0}.$$

Для практического расчёта вероятности безотказной работы конкретных приборов РЭА и электротехнических изделий используются методики, имеющие статус стандартов предприятий, созданных на основе отраслевых стандартов. Подразделения надёжно-

сти, имеющиеся на каждом сертифицированном предприятии, решают задачи определения количественных показателей надёжности как на этапе проектирования, так и в ходе эксплуатации изделия. Это позволяет иметь результаты вероятностных определений надёжности и данные, подкреплённые статистикой, после начала эксплуатации изделий.

### ТЕОРЕМА БАЙЕСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЁМА ВЫБОРКИ

Решение задачи определения объёма выборки предлагается на основе теории вероятностей. Такой подход оправдан общим вероятностным описанием основных количественных характеристик надёжности, а как следствие, и качества.

В теореме гипотез [6, 7] используются понятия условной и безусловной вероятности.

Под условной вероятностью будем понимать вероятность наступления какого-либо события при условии, что другое связанное с ним событие произошло. Безусловная вероятность – это вероятность наступления какого-либо события, не зависящего от остальных условий и событий.

События будем обозначать большими буквами латинского алфавита. Для системы попарно несовместных событий  $A_i$ ,  $P(A_i) > 0$ , теорема гипотез мо-

жет быть сформулирована следующим образом.

Условная вероятность наступления события  $A_k$  при условии наступления события  $B$  определяется как отношение произведения условной вероятности наступления события  $B$  при условии наступления события  $A_k$  на безусловную вероятность события  $A_k$  к безусловной вероятности наступления события  $B$ .

Система попарно несовместных событий включает в себя элементарные события, которые в условиях конкретной задачи являются взаимоисключающими. Например, при проведении периодических испытаний изделие может либо выдержать испытания, либо отказать.

Аналитически запись этой теоремы выглядит следующим образом:

$$P(A_k/B) = \frac{P(B/A_k)P(A_k)}{P(B)}. \quad (1)$$

Составляющие выражения (1) имеют и «не математическое» содержание. Выражение слева от знака равенства является апостериорной вероятностью события  $A$ , т.е. вероятностью, зависящей от наступления события  $B$ . Вероятности  $P(A_k)$  и  $P(B)$  представляют собой априорные вероятности, т.е. вероятности, полученные аналитически, до их экспериментальной оценки.

Если представить вероятность события  $B$  (знаменатель (1)) через формулу

полной вероятности события [6, 7], то формула (1) примет вид:

$$P(A_k/B) = \frac{P(B/A_k)P(A_k)}{\sum_{i=1}^N P(A_i)P(B/A_i)}. \quad (2)$$

В теории вероятностей формула (2) носит название формулы Байеса – по имени английского математика 18 в. Томас Байес (1702 – 1761) – священнослужитель – доказал зависимость (2), позволяющую повышать достоверность определения вероятности события с помощью использования их эмпирических оценок. В формуле Байеса условные вероятности физически представляют собой апостериорные вероятности, т.е. уточняемые в ходе решения задачи, а безусловные – априорные вероятности событий – вычисленные, полученные до начала опыта.

Выводы работы Байеса, опубликованной в 1763 г., уже после смерти автора, фактически позволяют по оценкам факта наступившего события определять вероятность возникновения этого факта от той или иной причины.

События  $A_i$  ( $i = 1...N$ ) в выражении (2) и представляют собой все возможные условия, влияющие на возникновение события  $B$ , и называются гипотезами. Отсюда и пошло название теоремы.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЁМА ВЫБОРКИ

Вернёмся теперь к надёжности, её количественным показателям и задаче обоснования объёма выборки. На основании формулы Байеса опишем в обозначениях формулы (2) ситуацию, которая возникает при проведении периодических испытаний.

В рассматриваемом случае целесообразно рассмотреть две гипотезы:  $A_1$  – гипотеза о правильности предположения о соответствии изделий всей партии требованиям ТУ и  $A_2$  – гипотеза о неправильности предположения соответствия изделий всей партии требованиям ТУ. Здесь необходимо отметить, что абсолютная безотказность изделий невозможна. Как было сказано выше, в техническом задании заказчика закладывается вероятность безотказной работы, которая, естественно, всегда меньше 1. Поэтому в гипотезах речь идёт не о безотказности изделий, а об их соответствии ТУ. Учитывая, что требования к ВБР современ-

ной электроники и тем более электротехники очень высоки, в данном случае будем отождествлять понятия «безотказное функционирование» и «соответствие ТУ».

$P(A_1/B)$  – апостериорная вероятность правильности предположения о безотказности всей изготовленной партии при условии наступления события  $B$  – проведения успешных испытаний  $N$  штук изделий. Эта вероятность будет находиться слева от знака равенства.

$P(A_1)$  – априорная вероятность наступления гипотезы 1 – правильности предположения о безотказности всей партии.

$P(B/A_1)$  – вероятность успешного испытания  $N$  изделий из партии при условии, что гипотеза  $A_1$  верна. Говоря другим языком, это вероятность успешного прохождения периодических испытаний на выборке при ВБР изделия, соответствующей ТУ.

$P(A_2)$  – априорная вероятность наступления второй гипотезы – неверности предположения о безотказности всей партии изделий.

$P(B/A_2)$  – вероятность успешного испытания  $N$  образцов при условии, что гипотеза  $A_2$  верна. То есть это вероятность успешно пройти периодические испытания на выборке в  $N$  штук изделий при дефектности остальной партии.

Таким образом, на основании (2):

$$P(A_1 / B) = \frac{P(A_1)P(B / A_1)}{P(A_1)P(B / A_1) + P(A_2)P(B / A_2)}. \quad (3)$$

Такая запись была предложена Р.Е. Боссом в начале 1965 г. [8].

Проанализируем составляющие выражения (3).

Величина  $P(A_1/B)$  – искомое значение апостериорной вероятности правильности оценки всей партии по результатам положительных испытаний выборки объёма  $N$ . Примечательным здесь является то, что фактически это вероятность, обратная значению риска потребителя  $\beta$ , о котором было сказано выше. Информация о значении  $\beta$  есть в ТУ на любое изделие из рассматриваемой группы. В соответствии с теоремой сложения вероятностей [6],  $P(A_1/B) = 1 - \beta$ .

$P(A_1)$  – априорная вероятность правильности предположения о безот-

казности изделий. Величина этой вероятности будет меняться по ходу прохождения стадий разработки изделий. На этапе проектирования, когда нет подтверждённых испытаниями и эксплуатацией значений ВБР, значение вероятности целесообразно принять равным 0,5. Если безотказность меньше 0,5 – испытания проводить нецелесообразно. В дальнейшем, на этапе уже серийного производства, значение  $P(A_1)$  будет возрастать.

$P(B/A_1)$  по условиям задачи приближается к 1 и принимается равной 1. Действительно, при успешном функционировании ВБР изделия соответствует своему расчётному значению, а если оно близко к 1, то и  $P(B/A_1) \approx 1$ .

$P(A_2)$  – априорная вероятность наступления второго возможного в этом случае события – неверности предположения о соответствии изделий ТУ. По теореме сложения вероятностей  $P(A_2) = 1 - P(A_1)$ .

**Таблица 1. Значения апостериорной вероятности правильности предположения о годности всей партии на начальных этапах разработки для различных объемов выборки**

<i>N</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>P</i> , %	50	67	80	86	90	92	93	94	95

**Таблица 2. Значения апостериорной вероятности правильности предположения о годности всей партии при априорной вероятности безотказности 0,9 для различных объемов выборки**

<i>N</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>P</i> , %	90	91	91,7	92,5	93,2	93,8	94,4	95	95,5

$P(B/A_2)$  – это вероятность успешно пройти периодические испытания на выборке в  $N$  штук изделий при дефектности остальной партии, и, на основании теоремы умножений вероятностей [6]:

$$P(B/A_2) = P_1 P_2 \dots P_N = P^N,$$

где  $P$  – вероятности безотказной работы конкретных образцов, участвующих в испытаниях. Причём на основании методики, предложенной в [8], на начальных стадиях жизненного цикла изделия можно считать эту, в принципе не известную, вероятность равной 0,5.

Тогда выражение (3) примет вид:

$$P(A_1 / B) = \frac{P(A_1)P(B / A_1)}{P(A_1)P(B / A_1) + P(A_2)P^N}. \quad (4)$$

При значениях  $P(A_1)$ ,  $P(A_2)$ , равных 0,5, и  $P(B/A_1)$ , равном 1, зависимость апостериорной вероятности правильности оценки всей партии по результатам положительных испытаний выборки объёма  $N$  от количества  $N$  изделий, подвергающихся испытаниям, иллюстрируется таблицей 1.

Таким образом, для обоснования количества изделий для проведения предварительных испытаний необходимо по таблице 1 выбрать значение  $N$  так, чтобы величина  $P(A_1/B)$  была не меньше  $1 - \beta$ .

На этапе серийного выпуска, когда уже есть априорная информация о величине вероятности  $P(A_1)$ , необходимо, учитывая объём партии, подставить её значение в выражение (4). Учёт необходим, т.к. речь идёт о безотказности всей партии, а не одного изделия. Это может осуществляться на основании теоремы умножения вероятностей, т.е. для партии, например, в 50 шт. показатель степени, в которую необходимо возвести подтверждённую ВБР изделия, будет равен 50. Затем подстановкой в (4) различных значений  $N$  определяют  $P(A_1/B)$  и, когда значение апостериорной вероятности правильности оценки всей партии по результатам положительных испытаний выборки объёма  $N$  окажется не меньше  $1 - \beta$ , получают искомое число  $N$ .

В качестве примера в таблице 2 приведены значения апостериорной

вероятности правильности оценки всей партии по результатам положительных испытаний выборки объёма  $N$  от количества  $N$  изделий, подвергающихся испытаниям для  $P(A_1) = 0,9$ .

Из таблицы 2 видно, что увеличение количества испытываемых изделий после 5 мало увеличивает значение апостериорной вероятности соответствия продукции.

Если определение объёма выборки осуществляется для испытаний, проводимых за определённый временной интервал – квартал, полугодие, год, – то необходимо, учитывая технологическое время изготовления одного изделия и производственные мощности, определить ориентировочный объём, который будет произведён за контролируемый период.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В теории принятия решений есть такие понятия, как эксперт и лицо, принимающее решение (ЛПР). Эксперт представляет объективный материал, основанный на беспристра-

стных строгих математических расчётах и фактах. ЛПР принимает окончательное решение и несёт за него ответственность. Предлагаемый метод не претендует на руководство к действию, он выступает в качестве объективной, математически обоснованной процедуры выбора. Это «подсказка» эксперта ЛПР, основа для принятия решения. Окончательное решение о количестве образцов может быть другим. Оно будет основываться на бюджете проекта, величинах приемлемых рисков, «цены ошибки», важности и ответственности изделия. Но это уже более широкая и сложная многокритериальная задача, всесторонне учитывающая конкретные обстоятельства.

Способ, основывающийся на ранее полученных результатах, модернизирован путём учёта дополнительных данных: информации о величинах характеристик изделий, установленных заказчиком, – требуемой ВБР и риска потребителя.

Этот способ предлагается для широкого обсуждения, оценки, доработки и возможного внедрения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 50779.30 – 95 Статистические методы. Приемочный контроль качества. Общие требования.
2. Груничев А.С., Кузнецов В.А., Шитов Е.В. Испытания радиоэлектронной аппаратуры на надёжность. М.: Советское радио, 1969.
3. Буловский П.И., Зайденберг М.Г. Надёжность приборов систем управления. Справочное пособие. Л.: Машиностроение, Лен. отд., 1975.
4. ГОСТ 27.002 – 89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
5. ГОСТ Р ИСО 9000 – 2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
6. Колемаев В.А., Староверов О.В., Турундаевский В.Б. Теория вероятностей и математическая статистика: Уч. пособие для экон. спец. Вузов. Под ред. В.А. Колемаева. М.: Высшая школа, 1991.
7. Чистяков В.П. Курс теории вероятностей. 2-е изд., переработанное и дополненное. М.: Наука, Глав. Ред. Физ.-мат. литературы, 1982.
8. Босс Р.Е. Статистические основы контрольно-выборочных испытаний. Вопросы ракетной техники. 1966. № 6.

