

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО КОНТРОЛЯ
КАЧЕСТВА В СРЕДЕ MATLAB****В. В. Маркелов, А. И. Власов, Д. Е. Зотьева*****Введение***

Контроль качества изделий электронной техники является неотъемлемой процедурой жизненного цикла [1]. В работе [2] были рассмотрены особенности применения пакета MATLAB для анализа качества изделий электронной техники, даны рекомендации по формированию исходных данных анализа и их обработке.

В общем случае различают следующие виды статистического контроля партии продукции по альтернативному признаку [3–6]:

– одноступенчатый контроль – статистический контроль, характеризующийся тем, что решение относительно приемки партии продукции принимают по результатам контроля только одной выборки;

– двухступенчатый контроль – статистический контроль, характеризующийся тем, что решение относительно приемки партии продукции принимают по результатам контроля не более двух выборок, причем необходимость отбора второй выборки зависит от результатов контроля первой выборки;

– многоступенчатый контроль – статистический контроль, характеризующийся тем, что решение относительно приемки партии продукции принимают по результатам контроля нескольких выборок, максимальное число которых установлено заранее, причем необходимость отбора последующей выборки зависит от результатов контроля предыдущих выборок;

– последовательный контроль – статистический контроль, характеризующийся тем, что решение относительно приемки партии продукции принимают по результатам контроля нескольких выборок, максимальное число которых не установлено заранее, причем необходимость выборки зависит от результатов контроля предыдущих выборок.

Вопросы автоматизации анализа в среде MATLAB методов одноступенчатого контроля рассмотрены в данной статье.

1. Методика автоматизации одноступенчатого контроля в среде MATLAB

В работе [2] был проанализирован IP блок кода для пакета MatLab, который обеспечивает анализ плана контроля по оперативной характеристике. При организации контроля важно уметь количественно оценить эффективность того или иного плана [7–10]. Основной вероятностной характеристикой плана выборочного контроля является оперативная характеристика $P(q)$ [2], т.е. вероятность принять партию продукции с долей дефектных изделий равной q . Проанализируем оперативную характеристику плана контроля. Пусть на контроль поступает партия продукции объемом N изделий, в которой D изделий имеют дефект. При этом число D неизвестно. Напомним, что доля дефектных изделий $q = D/N$ [2].

Для одноступенчатого плана оперативная характеристика определяется по формуле

$$P(q) = P_n(m \leq c) = \sum_{m=0}^c P_n(m),$$
 программная реализация которой в среде MatLab представлена на рис. 1.

```

p=0;
c=2;
n=100;
for m=0:1:c
    p=p+pmn;
end;

```

Рис. 1. Листинг программы MATLAB для оценки оперативной характеристики одноступенчатого плана (m – число дефектных изделий в выборке объемом n (случайная величина); $P_n(m)$ – вероятность появления m дефектных изделий в выборке объемом n)

На рис. 2 приведена схема проведения одноступенчатого контроля.

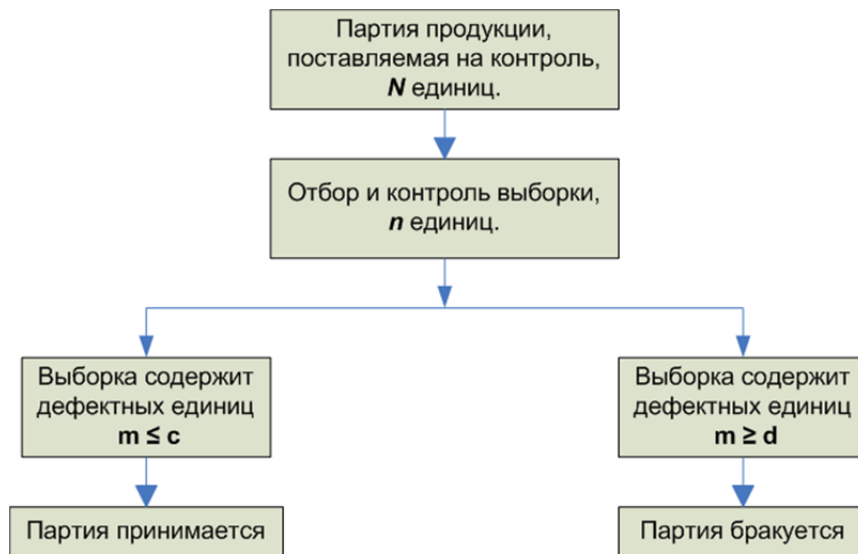


Рис. 2. Схема одноступенчатого контроля (m – число дефектных изделий в выборке объемом n , c – приемочное число, d – браковочное число)

При статистическом контроле качества продукции используют случайную бесповторную выборку и при расчете оперативной характеристики $P(q)$ исходят из гипергеометрического распределения вероятностей, задаваемого формулой

$$P_n(m) = \frac{C_D^m C_{N-D}^{n-m}}{C_N^n},$$

где C_N^n – число сочетаний из N элементов по n .

Код функции MatLab для вычисления факториала представлен на рис. 3.

```

function Y = culc_fact(x)
if x>=0
    Y=1;
    for i=2:x
        Y=Y*i;
    end;
else
    disp('error!')
end;
end

```

Рис. 3. Листинг программы MATLAB для вычисления факториала

Однако, учитывая отсутствие необходимых расчетных таблиц при больших значениях N и n , можно аппроксимировать требуемое распределение биномиальным законом или распределением Пуассона. Если объем выборки n не превышает 10 % объема партии ($n \leq 0,1N$), то можно аппроксимировать гипергеометрическое распределение биномиальным, задаваемым формулой:

$$P_n(m) = C_n^m q^m p^{n-m},$$

где $p = 1 - q$ – вероятность появления годного изделия.

Если $n \leq 0,1N$ и $q \leq 0,1$, то расчеты можно еще больше упростить, используя распределение Пуассона. Тогда

$$P_n(m) = \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!},$$

где $\lambda = np$ – математическое ожидание числа дефектных изделий в выборке объемом n .

```

pnm= ((culc_fact(D) / (culc_fact(m) *culc_fact(D-m))) *
(culc_fact(N-D) / (culc_fact(n-m) *culc_fact(N-D-n+m)))) /
(culc_fact(N) / (culc_fact(n) *culc_fact(N-n)))
pnm=(culc_fact(n) / (culc_fact(m) *culc_fact(n-m))) *q^m*(1-q)^(n-m)
pnm=(lyambda^m*exp(1)^((-1)*lyambda))/culc_fact(m)
    
```

Рис. 4. Листинг программы MATLAB для вычисления $P_n(m)$

С возрастанием приемочного числа c при постоянном n будет расти вероятность принятия партии с заданным уровнем качества q , а с возрастанием объема выборки n при постоянном c вероятность приемки партии $P(q)$ с заданным уровнем качества q будет уменьшаться. Эти свойства иллюстрируются на рис. 5.

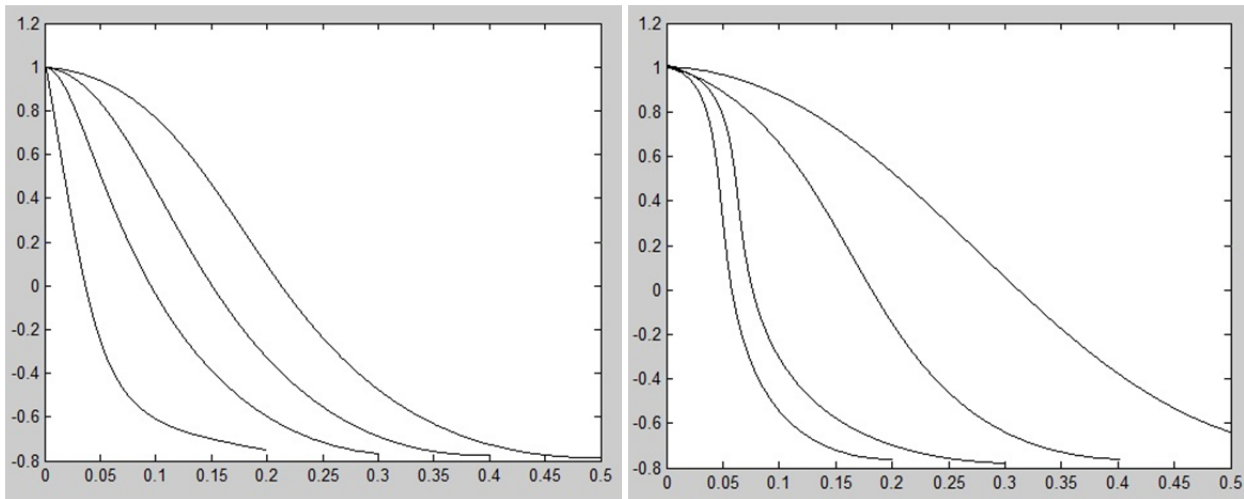


Рис. 5. Семейство оперативных характеристик планов контроля [2]

С возрастанием c при постоянном n , q_0 , q_m риск поставщика α уменьшается, а риск потребителя β возрастает. Это свидетельствует о противоречивости требований поставщика и потребителя к плану контроля.

Из рассмотренных свойств оперативных характеристик следует, что всегда можно выбрать такой план контроля, который гарантировал бы значения рисков α и β при заданных приемлемом q_0 и браковочном q_m уровнях качества.

Для производства представляет интерес не только результат приемочного контроля одной партии изделий, но и оценки, полученные по результатам контроля совокупности партии [3].

Рассмотрим план контроля, когда отклоненные партии изделий подвергаются сплошному контролю, т.е. контролируются все оставшиеся $(N - n)$ изделий партии, а выявленные дефектные изделия заменяются годными. Применение такого плана, очевидно, возможно только при неразрушающем контроле. Предполагается, что дефект во время контроля не может быть пропущен, и поэтому отклоненные партии после проведения сплошного контроля состоят только из годных изделий.

Пусть на контроль поступают партии изделий с постоянной долей дефектных изделий q . Тогда в случае одноступенчатого контроля с вероятностью $P(q)$ партии изделий принимаются, и доля дефектных изделий в принятых партиях равна $q \frac{N-n}{N}$, а с вероятностью $[1 - P(q)]$ партии отклоняются и подвергаются сплошному контролю. После этого доля дефектных изделий в отклоненных партиях равна 0.

В этом случае средняя доля дефектных изделий в принятых партиях

$$q_{cp} = q \frac{N-n}{N} P(q) + 0[1 - P(q)] = q \frac{N-n}{N} P(q).$$

Величину q_{cp} называют **средним выходным уровнем дефектности**.

Если объем выборки n мал по сравнению с объемом партии N , то можно принять, что $q_{cp} \approx q \cdot P(q)$.

Средний выходной уровень дефектности $q_{cp} = 0$ при $q = 0$ и $q = 1$, так как при $q = 1$ вероятность $P(q) = 0$ и все партии будут подвергаться сплошному контролю с заменой дефектных изделий на годные.

Так как q_{cp} – неотрицательная функция от q , равная нулю при $q = 0$ и $q = 1$, то внутри интервала $0 < q < 1$ средний выходной уровень дефектности имеет максимум q_L .

Максимальный для заданного плана контроля средний выходной уровень дефектности q_L называют пределом среднего выходного уровня дефектности.

На практике часто доля дефектных изделий в партиях продукции существенно меньше $q_1 (q \ll q_1)$. В этих случаях качество продукции рекомендуется оценивать по величине q_{cp} , найденной для значения среднего входного уровня дефектности q [3–5].

При использовании плана, когда отклоненные партии изделий подвергаются сплошному контролю, число проконтролированных в партии изделий есть случайная величина, принимающая значение n с вероятностью $P(q)$ и значение N с вероятностью $[1 - P(q)]$. Поэтому среднее число проконтролированных изделий в партии: $n_{cp} = n \cdot P(q) + N[1 - P(q)]$ (рис. 6).

$$\begin{aligned} q_{cp} &= q \cdot \left(\frac{N-n}{N} \right) \cdot p(q) \\ n_{cp} &= n \cdot p(q) + N \cdot (1 - p(q)) \end{aligned}$$

Рис. 6. Листинг программы MATLAB для вычисления средних значений

Эти характеристики позволяют оценить среднюю долю дефектных изделий в продукции после контроля, каково бы ни было качество поступающей на контроль продукции.

2. Построения графика функции среднего выходного уровня дефектности

Рассмотрим план контроля с параметрами $N = 200$, $n = 10$ и $c = 2$, когда отклоненные партии подвергаются сплошному контролю [11, 12].

Так как $n < 0,1N$, то при вычислении $q_{cp}(q)$ можно воспользоваться биномиальным законом распределения. Тогда

$$q_{cp} = 0,95 \cdot P(q) = 0,95q \sum_{m=0}^2 P_{10}(m) = 0,95q \sum_{m=0}^2 C_{10}^m \cdot q^m (1-q)^{10-m}.$$

После несложных преобразований окончательно получим:

$$q_{\text{ср}} = 0,95q \cdot (1-q)^8 \cdot [(1-q)^2 + 10q(1-q) + 45q^2].$$

```
q=0:0.01:0.8;
qs=0.95.*q.*(1-q).^8.*((1-q).^2+10.*q.*(1-q)+45.*q.*q);
plot(q,qs)
```

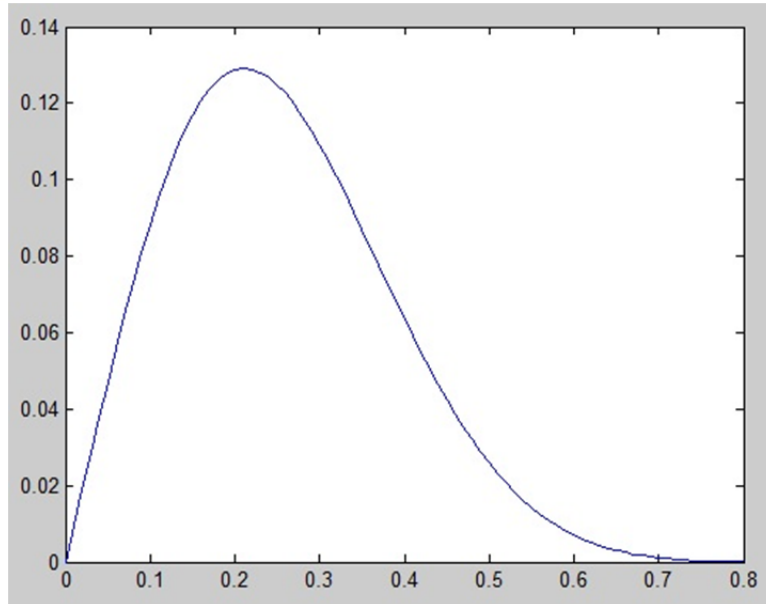


Рис. 7. Средний выходного уровень дефектности плана $n = 10$ и $c = 2$

Подставляя различные значения среднего входного уровня дефектности q ($0 < q < 1$), получим соответствующие значения $q_{\text{ср}}$. На рис. 7 представлен график функции среднего выходного уровня дефектности $q_{\text{ср}}$. Из рисунка видно, что при $q = q_1 = 0,29$ функция $q_{\text{ср}}$ достигает максимума $q_L = 0,19$. Таким образом, для плана контроля с разбраковкой при $n = 10$ и $c = 2$ средняя доля дефектных изделий в продукции после контроля не превысит $q_L = 0,19$, каково бы ни было качество (q) поступающей на контроль продукции.

3. Построение плана одноступенчатого контроля

При разработке плана одноступенчатого выборочного контроля при приемке воспользуемся законом распределения Пуассона. Напомним, что распределение Пуассона приближается к биномиальному при $p' < 0,10$ и $np' < 5$. Это приближение логически вполне оправдано, так как при выборочном изучении качественных признаков, при котором определяется процент дефектных изделий, как правило, мы имеем дело именно с биномиальным распределением [2].

Один из планов одноступенчатого выборочного контроля по альтернативному признаку по проценту дефектных изделий, приведенный в американском военном стандарте 105, дает $n = 300$ и $c = 5$, где n – объем выборки, а c – приемочное число. Этот план в основном сводится к следующему: извлечь для проверки представительную выборку объемом 300 изделий, принять партию, если в выборке окажется пять или менее дефектных изделий, и отклонить ее, если их будет больше пяти. Решение принять или отклонить партию основывается исключительно на результатах такой однократной выборки.

Чему равна величина риска, с которым связано применение этого плана для поставщика и для потребителя?

Величину риска чаще всего графически изображают кривой, которую принято называть кривой оперативной характеристики плана выборочного контроля (сокращенно кривая *OC*).

Кривая оперативной характеристики одноступенчатого выборочного контроля строится следующим образом:

1. Проставить названия столбцов таблицы и значения столбца P_a .

Таблица 1

Данные для построения оперативной характеристики.

n	np'	p'	P_a	$P_a p'$

В табл. 1: n – объем выборки; np' – число, дефектных изделий; p' – доля дефектных изделий; P_a – вероятность принятия партии; $P_a p'$ – среднее выходное качество (АОК).

Принятые значения P_a дадут значения для оси ординат; им в соответствие на оси абсцисс устанавливаются значения p' , после того как они будут получены, а затем строится кривая оперативной характеристики (ОС).

2. Найти заданное значение P_a для данного приемочного числа c (или ближайшее к нему). (В последнем случае следует заменить отсутствующее значение P_a ближайшим к нему значением, внося исправление в соответствующий столбец составляемой таблицы).

3. Проставить значение np' , соответствующее данному значению P_a , в столбце np' .

4. Разделить это значение np' на n . В результате получаем значение p' , которое будет поставлено в соответствие данному P_a при построении кривой оперативной характеристики (ОС).

4. Анализ кривой среднего выходного уровня дефектности

Средний выходной уровень дефектности является важным показателем для потребителя, так как его величина характеризует реальное качество продукции, которую он получит после проверки [13–16]. Предусматриваемые планом контроля меры по замене дефектных изделий годными направлены на то, чтобы средний выходной уровень дефектности был лучше или, по крайней мере, не хуже входного уровня дефектности.

Во-первых, при входном уровне дефектности с нулевым числом дефектных изделий средний выходной уровень дефектности будет также характеризоваться нулевым процентом брака [2–6].

Во-вторых, если взять другую крайность, например, исходить из входного качества с 10 % дефектных изделий, то средний выходной уровень дефектности и в этом случае будет практически стопроцентным, так как партии, качество которых окажется ниже приемлемого, должны быть исправлены. Все партии, содержащие 10 % дефектных изделий, будут отклонены и подвергнуты сплошной проверке, в результате которой процент дефектных изделий, характеризующий среднее выходное качество, будет равен нулю. Между этими двумя крайними точками расположены различные промежуточные значения выходного уровня дефектности.

Заключение

В данной работе приведены рекомендации по оценке параметров одноступенчатого контроля качества в среде MatLab. Практическая ценность работы состоит в том, что проведенный анализ систем статистического контроля и предложенный инструментарий в среде MATLAB позволяет сделать аргументированный выбор необходимых методик оценки в зависимости от решаемых задач на предприятии и необходимого набора функций требуемой системы управления качеством.

Вопросы автоматизации анализа в среде MATLAB по остальным видам статистического контроля в среде MatLab будут рассмотрены в следующих статьях цикла.

Список литературы

1. Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств / К. И. Билибин, А. И. Власов, Л. В. Журавлева и др. ; под общ. ред. В. А. Шахнова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 568 с.

2. Маркелов, В. В. Автоматизация методов входного статистического контроля при управлении качеством изделий электронной техники в среде MATLAB / В. В. Маркелов, А. И. Власов, Д. Е. Зотьева // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3. – С. 38–44.
3. Хэнсен, Б. Л. Контроль качества. Теория и применение : пер. с англ. / Б. Л. Хэнсен. – М. : Прогресс, 1968. – 257 с.
4. Ноулер, Л. Статистические методы контроля качества продукции : пер. с англ. / Л. Ноулер. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 96 с.
5. Управление качеством электронных средств : учеб. для вузов / О. П. Глудкин и др. – М. : Высшая школа, 1999. – 414 с.
6. Глудкин, О. П. Всеобщее управление качеством : учеб. для вузов / О. П. Глудкин. – М. : Радио и связь, 1999. – 179 с.
7. Маркелов, В. В. Системный анализ процесса управления качеством изделий электронной техники / В. В. Маркелов, А. И. Власов, Э. Н. Камышная // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1. – С. 35–43.
8. Маркелов, В. В. Управление и контроль качества изделий электронной техники. Семь основных инструментов системного анализа при управлении качеством изделий электронной техники / В. В. Маркелов, А. И. Власов, Д. Е. Зотьева // Датчики и системы. – 2014. – № 8. – С. 55–67.
9. Власов, А. И. Визуальные модели управления качеством на предприятиях электроники / А. И. Власов, А. М. Иванов // Наука и образование. – 2011. – № 11. – С. 34–36.
10. Современные методы и средства обеспечения качества в условиях комплексной автоматизации / В. Г. Дудко, К. Д. Верейнов, А. И. Власов, А. Г. Тимошкин // Вопросы радиоэлектроники. Сер. АСУПР. – 1996. – № 2. – С. 54–72.
11. Еланцев, А. В. Автоматизированный контроль и испытания электронной аппаратуры / А. В. Еланцев, В. В. Маркелов. – М. : Изд-во МГТУ, 1990. – 51 с.
12. Власов, А. И. Системный анализ технологических процессов производства сложных технических систем с использованием визуальных моделей / А. И. Власов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 10, ч. 2. – С. 17–26.
13. Адамова, А. А. Методологические основы обеспечения технологичности электронных средств / А. А. Адамова, А. П. Адамов, Г. Х. Ирзаев. – СПб. : Политехника, 2008. – 258 с.
14. Баранов, Н. А. Управление состоянием готовности системы безопасности к отражению угрозы / Н. А. Баранов, Н. А. Северцев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 8–10.
15. Дедков, В. К. Компьютерное моделирование характеристик надежности нестареющих восстанавливаемых объектов / В. К. Дедков, Н. А. Северцев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2010. – Т. 1. – С. 368–370.
16. Юрков, Н. К. Технология производство электронных средств : учеб. / Н. К. Юрков. – М. : Лань, 2014. – 480 с.

Маркелов Виктор Васильевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра проектирования и технологии производства
радиоэлектронной аппаратуры,
Московский государственный
технический университет им. Н. Э. Баумана
(105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1)
8-(499)-263-62-26
E-mail: info@iu4.bmstu.ru

Власов Андрей Игоревич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра проектирования и технологии производства
радиоэлектронной аппаратуры,
Московский государственный
технический университет им. Н. Э. Баумана
(105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1)
8-(499)-263-62-26
E-mail: vlasov@iu4.ru

Markelov Viktor Vasil'evich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of engineering and manufacturing
technology of radio-electronic equipment,
Moscow State Technical University
named after N. A. Bauman
(105005, page 1, 5, 2-ya Baumanskaya street,
Moscow, Russia)

Vlasov Andrey Igorevich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of engineering and manufacturing
technology of radio-electronic equipment,
Moscow State Technical University
named after N. A. Bauman
(105005, page 1, 5, 2-ya Baumanskaya street,
Moscow, Russia)

Зотьева Дарья Евгеньевна

студентка,
кафедра проектирования и технологии производства
радиоэлектронной аппаратуры,
Московский государственный
технический университет им. Н. Э. Баумана,
(105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1)
8-(499)-263-65-53
E-mail: maxaonk@ya.ru

Аннотация. Проанализированы возможности автоматизации методов входного статистического контроля при управлении качеством изделий электронной техники в среде MATLAB. Данная работа посвящена исследованию методов статистического контроля по альтернативному признаку. Исследованы одноступенчатый, двухступенчатый, многоступенчатый и последовательные контроли. Основное внимание уделено методикам одноступенчатого контроля. Представлены инструменты в среде MATLAB для обработки результатов статистического контроля.

Ключевые слова: одноступенчатый контроль, управление качеством, электронная аппаратура, MATLAB.

УДК 681.321

Маркелов, В. В.

Автоматизация одноступенчатого контроля качества в среде MATLAB / В. В. Маркелов, А. И. Власов, Д. Е. Зотьева // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 2 (10). – С. 34–41.

Zot'eva Dar'ya Evgen'evna

student,
sub-department of engineering and manufacturing
technology of radio-electronic equipment,
Moscow State Technical University
named after N. A. Bauman,
(105005, page 1, 5, 2-ya Baumanskaya street,
Moscow, Russia)

Abstract. The paper presents a single-stage control automation techniques in the management of quality electronic products in the environment MATLAB. This work is devoted to a single-stage statistical control by attributes. Tools presented in MATLAB environment for obtaining and processing the results of a single-stage control. Considered a single-stage plan for the control and the curve average output level of defects.

Key words: input control, quality management, electronic equipment, MATLAB.