

УДК 681.5

## АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ОПЕРАЦИОННОГО И ПРИЕМОЧНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КАБЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ\*

**Б.К. Чостковский, В.Н. Митрошин**

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

**Аннотация.** Приемочный контроль изготавливаемой кабельной продукции осуществляется по результатам измерения конечных значений параметров готового изделия. На основании нарушения допусков, оговоренных в технической документации, производится отбраковка кабеля. Повышающиеся требования к качеству продукции вызывают необходимость перехода к сплошному непрерывному контролю. Предлагается алгоритм коррекции поля допусков контролируемых параметров как функции количества точек выборочного контроля, гарантирующего сохранение требуемого уровня выхода годного кабеля. При переходе от приемочного контроля длинномерных изделий по результатам нарушения допуска конечных значений измеряемых параметров к операционному контролю по результатам нарушения допуска параметров, измеряемых по всей длине изделия, следует расширить поле допуска, рассчитав его из условия сохранения «выхода годной» продукции.

**Ключевые слова:** кабель, производство, технологический процесс, контроль качества, алгоритмизация.

Технологический процесс производства длинномерного изделия (например, кабеля) реализуется, как правило, совмещением технологических операций, выполняемых «на проход», т. е. при движении заготовки изделия, сечение которого последовательно проходит места расположения исполнительных устройств и датчиков используемой системы автоматизации [1].

К таким совмещенным технологическим процессам относится процесс изготовления кабеля передачи данных (LAN-кабеля), выполняемый на экструзионной линии со сдвоенной экструзионной головкой [2, 3].

Приемочный контроль таких изделий, как правило, выполняется по результатам измерения конечных значений их геометрических и электрических параметров. При нарушении допуска, оговоренного в технической документации, проводится отбраковка. В результате доля брака и «выход годного» существенно зависят от величины заданного поля допуска.

Главным недостатком используемого подхода является высокая вероятность необнаруженных дефектов на той длине изделия, которая не подвергалась приемочным испытаниям.

Постоянно повышающиеся требования к качеству продукции, например

---

\*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 18-08-00506-а).

Чостковский Борис Константинович (д.т.н.), профессор кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

Митрошин Владимир Николаевич (д.т.н.), зав. кафедрой «Автоматика и управление в технических системах».

к LAN-кабелям 6-й и 7-й категорий, вызывают необходимость перехода к поточному предъявлению продукции со сплошным непрерывным контролем ее параметров [3]. Очевидно, что данный подход, использующий допусковый контроль всех сечений изделия, приведет к увеличению доли отбраковываемой продукции при сохранении прежних требований, т. е. тех же допусков. Отсюда следует необходимость коррекции принятых допусков на контролируемые непрерывно параметры изделия, дефектные отрезки которого в последующем отбраковываются. Учитывая, что при совмещенном непрерывном технологическом процессе контролируемые изменения параметров изделия могут быть описаны как случайные функции длины [3], в основе предлагаемой методики коррекции поля допуска авторами рекомендовано использовать принцип сохранения доли отбраковываемой продукции при переходе от допускового контроля одного сечения к контролю всех сечений длины выпускаемого изделия. А так как доля длины изделия с нарушенным допуском определяется вероятностью выхода параметра из поля допуска, то новый допуск должен быть определен так, чтобы при тех же вероятностных характеристиках контролируемых параметров доля отбраковываемых изделий (доля отбраковываемой длины) осталась прежней.

Очевидно, что методика расчета скорректированного допуска должна учитывать свойства случайных функций, описывающих изменение параметров изделия по его длине, которые, как правило, могут быть представлены двумя числовыми характеристиками – дисперсией и интервалом корреляции параметра [4].

Пусть при измерении параметра  $X$  (диаметра, емкости...) длинномерного изделия (кабеля) в качестве полной группы событий рассматривается допусковый контроль параметра  $X$  в  $N$  сечениях изделия, разделенных отрезками длины, равными величине интервала корреляции  $\tau_k$  случайной функции  $X(l)$ , где  $l$  – текущая длина изделия. Тогда

$$N = L/L_0 = L/\tau_k, \quad (1)$$

где  $L$  – длина изделия,  $L_0$  – интервал квантования по длине, выбранный равным интервалу корреляции  $\tau_k$  случайной функции  $X(l)$ .

Переходя к дискретной длине, обозначим текущую длину изделия  $l = b \cdot L_0$ , где  $b$  – целочисленный коэффициент. Тогда дискретная случайная функция измеряемого параметра по длине изделия будет обозначаться как  $X(b)$ .

Вероятность отсутствия выхода  $X(b)$  за поле допуска  $X_0 \pm \Delta_n$  обозначим  $p_0$ :

$$p_0 = P\{X \in X_0 \pm \Delta_n\}. \quad (2)$$

Здесь  $X_0$  – номинальное значение измеряемого параметра, а  $\Delta_n$  – допуск отклонения измеряемого параметра от номинального значения.

Тогда вероятность  $q$  нарушения допуска (выхода за допуск) определится как

$$q = 1 - p_0. \quad (3)$$

Соответственно «выход годного»  $p_0 \cdot 100\% = P_0$ .

Пусть относительная величина допуска  $a$  определяется

$$a = \frac{\Delta_n}{\sigma_x}, \quad (4)$$

где  $\sigma_x$  – среднее квадратическое отклонение измеряемого параметра  $X$ .

Пусть  $x$  – отклонение измеряемого параметра  $X$  от его номинального значения  $X_0$ :

$$x = X - X_0. \quad (5)$$

Тогда математическое ожидание отклонения измеряемого параметра

$$m_x = M[X] - X_0 = m_X - X_0 = 0. \quad (6)$$

Если случайная величина имеет нормальный закон распределения, что справедливо, например, для параметров проводного кабеля, таких как диаметр изолированной жилы и ее погонная емкость [1, 3], формируемых при изготовлении кабеля, то их плотность распределения вероятности [5]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2}\right] = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right]. \quad (7)$$

Интегральная функция распределения случайной величины для нормального закона с учетом (7) имеет вид [5]

$$F(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right] dx. \quad (8)$$

Вероятность нахождения  $X$  в поле допуска  $\Delta_n$  (2) при одном измерении ( $n = 1$ ) можно определить по формуле

$$p_0 = F(\Delta_1) - F(-\Delta_1) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\Delta_1}^{\Delta_1} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right] dx. \quad (9)$$

Введем нормированную переменную  $t$ :

$$t = \frac{x - m_x}{\sigma_x}. \quad (10)$$

Тогда вероятность  $p_0$  согласно (9) можно записать

$$p_0 = 2\Phi_1(\Delta_1) = \Phi_0, \quad (11)$$

где

$$\Phi_1(\Delta_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{\Delta_1} \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt, \quad (12)$$

$$\Phi_0(\Delta_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\Delta_1}^{\Delta_1} \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt, \quad (13)$$

здесь  $\Phi_1(\Delta_1)$  и  $\Phi_0(\Delta_1)$  – две формы функции Лапласа [6]: интегральной функции распределения нормированной стандартной гауссовой случайной величины при  $m_x = 0$ ,  $\sigma_x = 1$ .

С учетом (11) и (12) можно записать

$$p_o = 2\Phi_1(\Delta_1) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \int_0^{\Delta_1} \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt. \quad (14)$$

Функция Лапласа не может быть выражена через элементарные функции, она обычно определяется по таблицам [7], или ее можно представить в виде разложения в ряд, например Тейлора. С учетом (4), (14) для нормированной стандартной гауссовой случайной величины, у которой  $\sigma_x = 1$ , вероятность отсутствия ее выхода за поле допуска по одному измерению можно записать

$$p_o \approx 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{a} \left(1 - \frac{1}{a^2} + \frac{3}{a^4} - \frac{15}{a^6}\right) \exp\left[-\frac{a^2}{2}\right]. \quad (15)$$

Если в знакпеременном ряде ограничиться несколькими членами, то ошибка будет меньше первого отброшенного члена [6]:

$$1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{a} \cdot \exp\left[-\frac{a^2}{2}\right] < p_o < 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{a} \exp\left[-\frac{a^2}{2}\right] \cdot \left(1 - \frac{1}{a^2}\right). \quad (16)$$

Тогда можно записать:

$$p_o \approx 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{a} \cdot \exp\left[-\frac{a^2}{2}\right]. \quad (17)$$

При переходе от конечного контроля к операционному, осуществляемому через интервалы квантования по длине изделия, равные интервалу корреляции  $\tau_k$  случайной функции  $X(t)$ , вероятность  $p_o^N$  отсутствия выхода измеряемой величины за поле допуска по  $N$  независимым измерениям будет равна

$$p_o^N = \left\{1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{1}{a} \cdot \exp\left[-\frac{a^2}{2}\right]\right\}^N. \quad (18)$$

Используя бином Ньютона – формулу разложения произвольной натуральной степени двучлена в многочлен [8] и ограничиваясь первыми двумя членами разложения, получаем

$$Na_1 \cdot \exp\left[-\frac{a_N^2}{2}\right] = a_N \cdot \exp\left[-\frac{a_1^2}{2}\right]. \quad (19)$$

Здесь  $a_1$  и  $a_N$  – относительные величины допуска измеряемой величины при одном измерении (приемочном контроле) и при  $N$  независимых измерениях (операционном контроле) соответственно. Величины  $a_1$  и  $a_N$  определяются в соответствии с (4)

$$a_1 = \frac{\Delta_1}{\sigma_x}, \quad a_N = \frac{\Delta_N}{\sigma_x}. \quad (20)$$

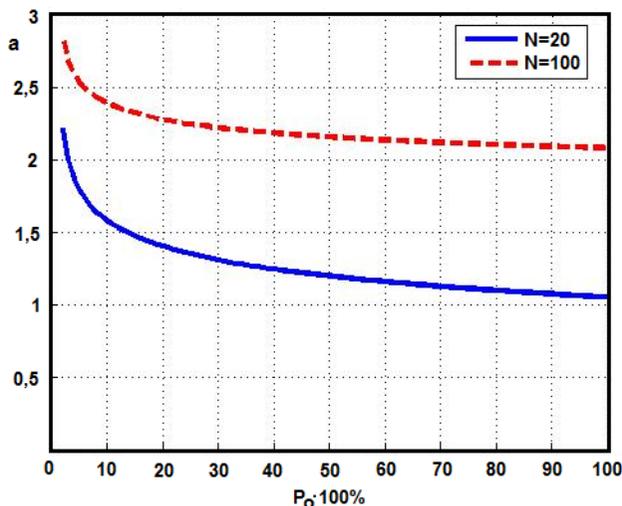


График зависимости допуска  $a$  от требуемого «выхода годного» ( $P_0 \cdot 100\%$ ):  
 $N$  – количество точек контроля продукции

Численный расчет допусков, произведенный в соответствии с (19) и (20), позволил построить график зависимости допуска  $a$  от требуемого «выхода годного» ( $P_0 \cdot 100\%$ ) и количества точек контроля продукции (см. рисунок).

Из вышесказанного следует, что при переходе от приемочного контроля длинномерных изделий по результатам нарушения допуска конечных значений измеряемых параметров к операционному контролю по результатам нарушения допуска параметров, измеряемых по всей длине изделия, следует расширить поле допуска, рассчитав его из условия сохранения «выхода годной» продукции.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митрошин В.Н. Автоматизация технологических процессов производства кабелей связи. – М.: Машиностроение, 2006. – 140 с.
2. Андреев В.А. Теория многопроводных линий связи. – М.: ИРИАС, 2006. – 162 с.
3. Чостковский Б.К. Методы и системы оптимального управления технологическими процессами производства кабелей связи. – М.: Машиностроение, 2009. – 190 с.
4. Свешиников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968. – 368 с.
5. Венцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. – 6-е изд. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
7. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 1970. – 239 с.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1977. – 832 с.

Статья поступила в редакцию 13 января 2018 г.

# ALGORITHMIZATION OF OPERATIONAL AND ACCEPTANCE CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF CABLE PRODUCTION

**B.K. Chostkovskiy, V.N. Mitroshin**

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

**Abstract.** *Acceptance control of manufactured cable products is carried out based on the results of measuring the end values of the parameters of the finished product. On the basis of violation of the tolerances stipulated in the technical documentation, cable is rejected. Increasing requirements for the quality of products necessitate the transition to continuous monitoring. The algorithm for correction of the tolerances field of controlled parameters is proposed as a function of the number of sampling points ensuring the preservation of the required output level of a suitable cable. During the transition from the acceptance inspection of long products according to the results of the violation of the tolerance limit values of the measured operating parameters to control the results of the violation of the tolerance parameters, measured across the length of the product, should increase tolerance, calculating its condition of conservation of the yield products.*

**Keywords:** *cable, production, technological process, quality control, algorithmization.*