

УДК 658.562.3

**МОДЕЛЬ КАЧЕСТВА МНОГОСТУПЕНЧАТОГО
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОЦЕССА
СО СПЛОШНЫМ КОНТРОЛЕМ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ
И СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО ОТКЛОНЕНИЯ**

А.С. Гопоненко

Томский политехнический университет
E-mail: andreigoponenko@gmail.com

Гопоненко Андрей Сергеевич, студент кафедры компьютерных измерительных систем и метрологии Института кибернетики ТПУ.
E-mail: andreigoponenko@gmail.com
Область научных интересов: статистические средства контроля и управления качеством.

Предложена новая общая модель промышленного многоступенчатого процесса, в котором качество конечного продукта зависит от вариабельности подпроцессов, через которые проходит продукт. На примере частного случая была показана чувствительность модели к вариабельности подпроцессов при изменении среднего значения и средквдратического отклонения. Такие модели могут быть использованы в инструментах контроля качества продукции, создаваемой в ходе многоступенчатых процессов.

Ключевые слова:

Многоступенчатые процесс, модель качества, настройка и наладка.

Введение

Одной из наиболее важных задач в современном производстве является получение продукции высокого качества за счёт уменьшения вариабельности производственных процессов. В настоящее время многие продукты получают в результате прохождения через множество процессов [1, 2] при сплошном контроле качества. Продукт создаётся в течение n процессов в серии, причем после каждого подпроцесса необходим контроль качества продукции, после чего принимается решение либо о передаче продукта на следующий процесс, либо на исправление, если это возможно (рис. 1).

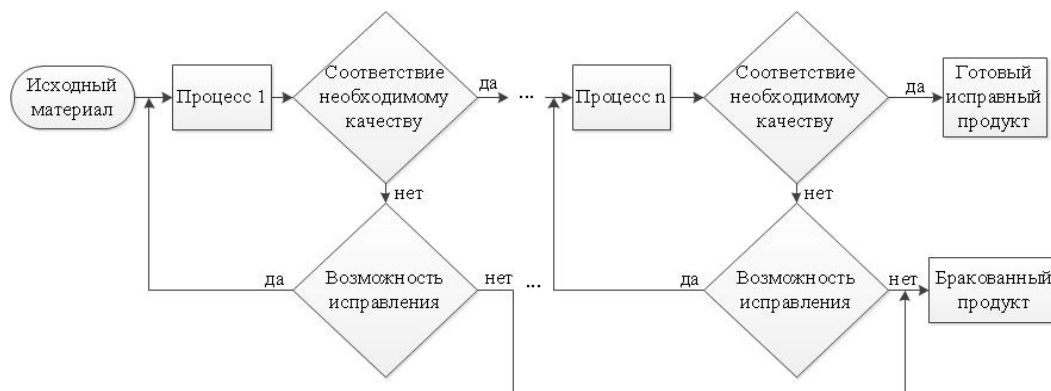


Рис. 1. Модель качества многоступенчатого процесса при сплошном контроле

В многоступенчатых процессах качество конечного продукта зависит от вариабельности каждого n_i -го подпроцесса [3, 4]. Следовательно, необходимо учитывать факторы, влияющие на вариабельность подпроцессов, чтобы контролировать качество готового продукта. Так как качество конечного продукта может быть выражено различными способами, также необходим оптимальный вариант представления, который учитывал бы иерархичный характер модели качества.

В литературе рассматриваются различные способы контроля и конечные функции, отражающие качество процессов. В [5] рассматриваются проблемы, которые заключаются в ми-

нимизации ожидаемых затрат. В [6] представлены аналогичные модели для случая максимизации прибыли. В [7] изучено влияние дисперсии на снижение прибыли. В [8] представлено единообразие продуктов через функцию Тагути (функцию квадратичных потерь). Пример использования различных схем выборочного контроля вместо полного контроля встречается в [9–11]. Источники [12, 13] рассматривают проблемы, которые имеют производственные процессы с линейным дрейфом.

К отечественным разработкам можно отнести работы с использованием семи инструментов качества [14]. Одними из наиболее популярных инструментов являются контрольные карты, которые позволяют устанавливать определенные пределы и диагностировать изменения параметра процесса относительно этих пределов. Ведутся работы по автоматизации процессов с учетом иерархичности создаваемой продукции, при этом происходит контроль по альтернативному признаку, т. е. учет наличия дефектов [15]. Как правило, это предоставляет нам меньше информации, чем контроль по количественному признаку, что скажется на информативности модели качества целого продукта.

Таким образом, рассмотрим модель качества многоступенчатого процесса, в которой учитывается вариабельность каждого подпроцесса и используется контроль по количественному признаку.

Модель

За основную математическую модель, описывающую данные из выборки, которую получаем при измерении основной характеристики продукта после прохождения через подпроцесс i , возьмём распределение Гаусса, которое задается функцией:

$$\varphi_i(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right), \quad (1)$$

где μ_i – среднее значение случайной величины x ; σ_i – среднеквадратическое отклонение.

Это приемлемо, так как большинство физических процессов можно смоделировать с помощью этого распределения, при этом необходимо учитывать, что:

- нет неизвестных факторов, влияющих на выборку, или они несущественны;
- выборка ограничена;
- крайние события происходят не чаще, чем предсказывает правило трёх сигм и не имеют больших последствий [16].

Для того чтобы изготавливаемый продукт обладал необходимым качеством, нужно учитывать настройку и наладку n подпроцессов, в ходе которых создается продукт [17]. Говорят, что процесс настроен, если математическое ожидание μ его основной характеристики совпадает с номинальным $\mu_{ном}$ [18]. Процесс налажен, если поле рассеяния характеристики (1) меньше 6σ [19]. Учитывая это, запишем выражения Z_1 и Z_2 , отражающие степень настройки и наладки подпроцессов соответственно:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_1 = \sum_{i=1}^n m_i \left[\Phi\left(\frac{U_i - \mu_i}{\sigma_i}\right) - \Phi\left(\frac{L_i - \mu_i}{\sigma_i}\right) \right] \\ Z_2 = \sum_{i=1}^n n_i \left[\Phi\left(\frac{U_i - \mu_i}{3\sigma_i}\right) - \Phi\left(\frac{\mu_i - L_i}{3\sigma_i}\right) \right] \end{array} \right.$$

где U_i и L_i – нижний и верхний контрольные пределы [20]; m_i и n_i – коэффициенты, которые позволяют рассматривать численные значения характеристик подпроцессов различной природы [21].

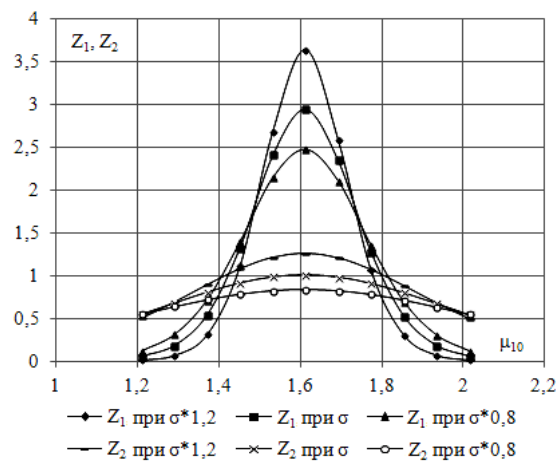
Пример

В программном пакете Statistica смоделируем массив из 200 данных на каждый из 10 подпроцессов [22]. Воспользуемся функцией $\text{RndNormal}(y_i) + \mu_i$, где $y_i \approx 0,1$, а значения μ_i возьмем из табл. 1.

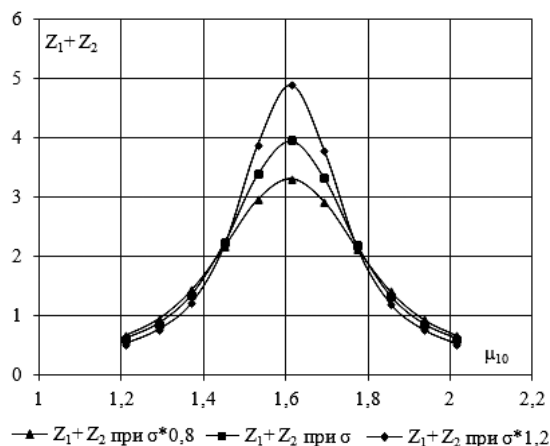
Таблица 1. Средние значения для каждого подпроцесса

μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9	μ_{10}
1,00	1,01	1,10	1,25	1,30	1,35	1,45	1,50	1,55	1,61

Используя программу, определяем среднеквадратическое отклонение (СКО) – σ и перцентили (35 и 65 %) – пределы L и U соответственно. Рассмотрим, как ведут себя Z_1 и Z_2 при изменении y_i и μ_i . Для этого вычислим значения Z_1 и Z_2 при $y_i = y \cdot 0,8$; y ; $y \cdot 1,2$ и $\mu_i = \mu \cdot 0,75$; $\mu \cdot 0,8$; $\mu \cdot 0,85$; $\mu \cdot 0,9$; $\mu \cdot 0,95$; μ ; $\mu \cdot 1,05$; $\mu \cdot 1,1$; $\mu \cdot 1,15$; $\mu \cdot 1,2$; $\mu \cdot 1,25$. В данном примере коэффициенты m_i и n_i примем равными 1. Далее построим графики зависимости Z_1 и Z_2 от μ_{10} (рис. 2). Здесь выбрано μ_{10} , потому что это среднее значение характеристики готового продукта [23].

**Рис. 2.** Графики зависимостей Z_1 и Z_2 от μ_{10}

При сложении выражений получим результирующие графики (рис. 3). Это позволяет наглядно оценить чувствительность модели при изменении среднего значения и среднеквадратического отклонения.

**Рис. 3.** Графики зависимостей Z_1+Z_2 от μ_{10}

По форме графики на рис. 2 и 3 напоминают график распределения Гаусса, что вполне закономерно, учитывая характер функций $Z_1(\mu)$ и $Z_2(\mu)$. Данные графики имеют вершину в точке, совпадающей со средним значением данных для последнего процесса. Графики для функции Z_2 имеют более пологую форму, так как определялись для промежутка 6σ , а для Z_1 , соответственно, имеет более острую колоколообразную форму. При сложении Z_1 и Z_2 получим колоколообразную кривую, в которой учитывается скорость изменения обеих функций.

Устанавливая пределы согласно требованиям производителя, можно контролировать качество конечного продукта. Более того, учитывая скорость изменения функций качества,

можно делать прогноз на недалекое будущее касательно качества конечного продукта. Также возможно применение модели лишь для нескольких подпроцессов из общего числа, так как контроль качества производится после каждого подпроцесса.

Результаты

Разработана модель для многоступенчатых производственных процессов, в которой характеристики готового продукта зависят от характеристик всех подпроцессов, необходимых для создания продукта.

На конкретном примере показаны изменения результирующей функции от изменения математического ожидания и СКО. Пределы L и U устанавливаются согласно требованиям производителя.

Заключение

Анализ чувствительности модели предоставляет рамки, в которых инженеры могут уменьшить отклонения для подпроцессов и улучшить их производительность. Такая модель может быть использована как основа для инструментов контроля качества продукции, полученной в ходе многоступенчатого процесса.

Модель качества может быть улучшена для применения к системам, имеющим более сложные отношения качественными характеристиками и переменными процесса. Также может быть расширено количество факторов, влияющих на качество конечного продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bowling S.R., Khasawneh M.T., Kaewkuekool S., Cho B.R. A Markovian approach to determining optimum process target levels for a multi-stage serial production system // *European Journal of Operational Research*. – 2004. – № 3. – P. 636–650.
2. Al-Sultan K.S., Pulak M.F. Optimum target values for two machines in series with 100 % inspection // *Int. J. Opl. Res.* – 2000. – № 120. – P. 181–189.
3. Salih O., Duffuaa, Umar M., Al-Turki, Ahmet A., Kolus. A process targeting model for a product with two dependent quality characteristics using 100 % inspection // *International Journal of Production Research*. – 2009. – № 4. – P. 1039–105.
4. Утешева А.Ю., Осовский А.В., Кутузов Д.В. Управление качеством продукции и распространение инноваций // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. – 2008. – № 3. – С. 82–86.
5. Springer C.H. A method for determining the most economic position of a process mean // *Inds. Qual. Cont.* – 1951. – № 8 (1). – P. 36–39.
6. Hunter W.G., Kartha C.P. Determining the most profitable target value for a production process // *J. Qual. Technol.* – 1977. – № 9 (4). – P. 176–181.
7. Golhar D.Y., Pollock S.M. Cost saving due to variance reduction in a canning problem // *IEE Trans.* – 1992. – № 24 (1). – P. 89–92.
8. Arcelus F.J. Uniformity of production vs. conformance to specifications in the canning problem / *Optimization in Quality Control*. – 1996. – P. 243–259.
9. Carlsson O. Economic selection of a process level under acceptance sampling variables // *Engineering Costs and Production Economics*. – 1989. – № 16 (2). – P. 69–78.
10. Boucher T.O., Jafari M.A. The optimum target value for single filling operations with quality sampling plans // *J. Qual. Technol.* – 1991. – № 23 (1). – P. 44–47.
11. Al-Sultan K.S. An algorithm for the determination of the optimum target value for two machines in series with quality sampling plans // *Int. J. Prod. Res.* – 1994. – № 32 (1). – P. 37–45.
12. Rahim M.A., Banerjee P.K. Optimal production run for a process with random linear drift // *OMEGA*. – 1988. – № 16 (4). – P. 347–351.
13. Al-Sultan K.S., Pulak M.F. Process improvement by variance reduction for a single filling operation with rectifying inspection // *Prod. Planning & Control*. – 1997. – № 8 (5). – P. 431–436.

14. Ефимов В.В., Барт Т.В. Статистические методы в управлении качеством продукции. – М.: КНОРУС, 2006. – 172 с.
15. Чадаев В.М., Аристова Н.И. Иерархическая модель технологического процесса изготовления роботов с использованием роботов // Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах-2012: Материалы V Российской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2012). – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ "Электроприбор"», 2012. – С. 618–621.
16. What do we mean by «Normal» data? // Engineering statistics handbook. URL: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section5/pmc51.htm> (дата обращения: 17.10.2012).
17. Стукач О.В. Программный комплекс Statistica в решении задач управления качеством. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 163 с.
18. Kume H. Statistical Methods for Quality Improvement. – Tokyo: AOTS Chosakai, Ltd., 1985. – 231 p.
19. What is Process Capability? // Engineering statistics handbook. URL: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section1/pmc16.htm> (дата обращения: 17.10.2012).
20. Moustafa Elshafei, Atiq W. Siddiqui, Salih O. Duffuaa. Optimal Process Targeting of Multi-Components Multi-Characteristics Products // King Fahd University of Petroleum & Minerals. 2012. URL: http://scholar.google.ca/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=vENkgM0AAAAAJ&citation_for_view=vENkgM0AAAAAJ:9yKSN-GCB0IC (дата обращения: 17.10.2012).
21. Teeravaraprug J. Multi-Product Process Mean with Customer's Loss Consideration // Thammasat Int. J. Sc. Tech. – 2006. – № 3. – P. 22–28.
22. How to Generate Random Normal Distribution Numbers? // StatSoft. URL: <http://www.statsoft.com/support/blog/entryid/91/how-to-generate-random-normal-distribution-numbers/> (дата обращения: 17.10.2012).
23. Al-Sultan K.S. An algorithm for the determination of the optimum target values for two machines in series with quality sampling plans // International Journal of Production Research. – 1994. – № 32. – P. 37–45.

Поступила 05.11.2012 г.