

УДК 519.81
DOI: 10.14489/td.2018.05.pp.020-025

ОЦЕНКА УРОВНЯ КАЧЕСТВА МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ



Г. Т. Пипия,
ОАО «Радиоавионика»,
Санкт-Петербург, Россия.
E-mail: gogpipiy@ya.ru

Для решения проблемы оценки уровня качества производимой продукции с учетом множества единичных показателей качества необходимо существующие методы оценки уровня качества дополнить методами условной оптимизации. Для этого разработаны методы оценки уровня качества технической продукции, которые позволяют учитывать множество единичных показателей качества и определять пути улучшения качества посредством зависимости частных значений целевых функций от численных значений единичных показателей качества технической продукции.

Ключевые слова: модель мониторинга показателей качества, линейное программирование, целевое программирование, многопараметрическая оптимизация, целевая функция уровня качества.

G. T. Pipiy (Radioavionca Corporation, St. Petersburg, Russia)

THE PROBLEM SOLUTION OF MEASURING QUALITY LEVEL OF MULTIPARAMETER PRODUCTS BASED ON CONDITIONAL OPTIMIZATION METHODS

The most important stage in solving tasks of measuring a quality level of products with a lot of indicators is definition a right method of measuring a quality level. Classical qualimetry discipline suggests methods of convolution of a set of quality indicators in one key integral indicator. These methods can provide an incorrect result of making a decision, which relating with got evaluation the quality level of product. Expert measuring methods can provide to get an evaluation product with several indicators or a lot of indicators, but when amount of indicators are going up, the expert measuring is being harder. For solving the problem in field a measuring quality level of product with a lot of indicators, that needs to include methods from theory of optimization in traditional qualimetry methods. Target: Develop the measuring quality level method for products with a lot of indicators, which will be based on conditional optimization methods. Result: Developed the measuring quality level method for technical. Practical important: Methods of measure quality level of technical product, developed this article, allows considering a lot of quality indicators and determining ways for improving a quality level by the dependence of the particular values of the objective functions on the numerical values of the single indicators of the quality of technical products.

Keywords: the method of monitoring indicators of quality, linear programming, target programming, multi-criteria optimization, an objective function of the quality level.



Статья поступила в редакцию 26.10.2017

Received 26.10.2017

К настоящему времени уровень производства технической продукции вырос благодаря современным методам автоматизации процесса производства. Это стало необходимым по причинам роста сложности конструктива, уменьшения размеров элементной базы и расширения функционала производимой продукции. При выпуске технически сложных изделий перед производителем встает задача обеспечения и улучшения качества выпускаемой продукции не только за счет уменьшения доли

брака, но и за счет роста конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Для выполнения данной задачи существуют различные методы мониторинга показателей качества производимой продукции. Наиболее распространенные методы мониторинга качества входят в состав дисциплин «Квалиметрия», «Управление качеством» «Принятие решений», «Методы оптимизации» и «Управление операциями». Поэтому перед производителями встает задача правильного

выбора метода расчета и оценки уровня качества производимой продукции.

В данной работе предложен алгоритм поиска условного оптимума целевой функции при расчете уровня качества технической продукции для принятия решений в отношении производимой продукции.

Модель мониторинга показателей качества

Модель мониторинга показателей качества продукции в данной работе будет представлена математической моделью

$$\langle C, X, Y, F \rangle,$$

где C – затраты на качество; X – множество воздействующих факторов на показатели качества в процессе производства изделий; Y – множество показателей качества производимой продукции; F – функция уровня качества производимой продукции. Функция уровня качества продукции задается функциональной зависимостью

$$F = f(C(Y), Y(X)).$$

Известно, что техническая продукция характеризуется множеством показателей качества, разделенных на группы [1]:

- функциональные показатели;
- конструктивные показатели;
- экономические показатели;
- показатели надежности;
- эстетические показатели;
- эргономические показатели.

Исходя из перечисленных групп показателей качества, множество показателей качества превращается в многогранник $Y^j (j = 1, \dots, n)$, где n – количество учитываемых групп показателей качества. На каждую группу показателей качества в этом случае будут воздействовать свои факторы X_i .

В процессе формирования перечисленных показателей технической продукции предприятие затрачивает определенные ресурсы. В теории управления качеством в соответствии с моделью затрат на качество по схеме предупреждение – оценка – отказы затраты делятся на [2]:

- затраты на оценку качества;
- затраты на предупреждение несоответствий;
- затраты на устранение внутренних несоответствий;
- затраты на устранение внешних несоответствий.

Функция $C(Y)$ исходя из перечисленных групп затрат будет определяться на множестве $Y^j (j = 1, \dots, n)$. При этом затраты на качество связаны с внешними факторами X_i .

Формирование целевых функций для оценки уровня качества

Целевые функции модели мониторинга уровня качества продукции на этапе производства должны решать следующие задачи:

- 1) определение наиболее значимых причин ухудшения единичных показателей качества на этапе производства продукции;
- 2) определение экономических путей повышения качества продукции;
- 3) устранение критических причин возникновения дефектов;
- 4) определение денежных потерь на обеспечение качества продукции;
- 5) сокращение потерь за счет снижения стоимости мероприятий по обеспечению качества продукции.

На рисунке представлена модель мониторинга уровня качества, процесса взаимодействия модуля



Модель мониторинга уровня качества производимой продукции

измерения уровня качества и модуля принятия решений. Из рисунка следует, что для решения поставленных задач используются показатели бездефектности и экономичности обеспечения качества. Данные показатели помогают с помощью модуля измерения уровня качества определять влияние проведенных мероприятий на уровень качества производимой продукции. Эта функция возможна благодаря оптимизации. Результат проведенных мероприятий оценивают по изменению коэффициентов значимости.

Функция бездефектности рассчитывается следующим образом:

$$Y(X) = F_1 = \inf(c, w) = \sum_{i=1}^n c_i w_i,$$

где c_i – константа, определяемая по обратному значению относительной частоты возникновения i -й причины; w_i – коэффициент значимости константы, который находят по выражению

$$\sum_j^n y_{ij} w_i \leq b_j, \quad j = 1, \dots, n;$$

y_{ij} – количественный показатель дефектности по j -му показателю качества, возникающий по причине воздействия i -го фактора; b_j – ограничение на изменение линейного уравнения, правило формирования которого рассмотрено далее.

Затраты на качество определяют следующим образом. Рассчитывают расходы на контроль и инспекцию качества z_1 , расходы на предупреждающие действия z_2 , расходы на устранение дефектов z_3 . Функция затрат на качество с учетом перечисленных затрат примет вид

$$C(Y) = F_2 = \sup(z_i(z_1 + z_2 + z_3), w_i) = \sum_{i=1}^n z_i w_i,$$

где z_i – обратная относительная величина затрат на единицу продукции.

Для определения весовых значений целевых функций необходимо сформировать пространство возможных весовых значений. Сформированная модель мониторинга предлагает поиск целевых функций на многограннике $Y^j (j = 1, \dots, n)$. Данный многогранник состоит из множества показателей качества, т.е. является матрицей показателей качества продукции.

Для расчета уровня качества продукции определим коэффициенты a_{ij} в матрице $Ax = b$ как обратное значение показателя DPU. Это показатель количества дефектов, приходящихся на единицу

продукции (Defect Per Unit), рассчитывающийся по формуле

$$1 - \text{DPU} = 1 - \frac{d}{m}, \quad (1)$$

где d – количество найденных дефектов; m – количество проверенных единиц продукции.

Данные показатели определяют для каждого единичного показателя качества производимой продукции. В свою очередь единичные показатели качества примут следующий матричный вид:

$$A = \begin{pmatrix} 1 - \text{DPU}_{11} & 1 - \text{DPU}_{12} & \dots & 1 - \text{DPU}_{1n} \\ 1 - \text{DPU}_{21} & 1 - \text{DPU}_{22} & \dots & 1 - \text{DPU}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 - \text{DPU}_{m1} & 1 - \text{DPU}_{m2} & \dots & 1 - \text{DPU}_{mn} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Привязка к целевым функциям осуществляется по j -м индексам. По i -й строке идут перечни единичных показателей качества производимой продукции.

Как правило, при решении таких задач не удается найти оптимальное значение по нескольким критериям. В этом случае используются стратегии компромисса, приведенные в работе [3]. Перечисленные стратегии позволяют найти оптимальное соотношение численных значений нескольких критериев.

Для оценки уровня качества по двум целевым функциям будет использоваться линейная свертка.

Перед применением линейной свертки необходимо найти минимальное значение целевой функции F_1 , затем закрепить эту функцию как ограничение со знаком равно, а после найти целевую функцию F_2 с учетом добавленного ограничения.

Линейная свертка целевых функций с учетом относительных коэффициентов значимости примет вид

$$Q = F_1 \times m_1 + F_2 \times m_2, \quad (3)$$

где m_1 – относительный коэффициент значимости для целевой функции F_1 ; m_2 – относительный коэффициент значимости для целевой функции F_2 .

В качестве примера единичных показателей качества применяют единичные показатели модуля навигационной системы. Модуль навигационной системы (МНС) предназначен для определения координат на карте местности. Единичные показатели качества МНС включают элементы множества:

- y^1 – определение топографических координат X и Y ;
- y^2 – определение высоты Z ;
- y^3 – захват рабочего созвездия;
- y^4 – восстановление слежения;
- y^5 – отсутствие повреждений лакокрасочных и гальванических покрытий;
- y^6 – читаемая маркировка, наличие маркировки.

С учетом единичных показателей качества матрица (2) примет вид

$$A = \begin{pmatrix} 1 - \text{DPU}_{11}(y^1) & 1 - \text{DPU}_{12}(y^1) & \dots & 1 - \text{DPU}_{1n}(y^1) \\ 1 - \text{DPU}_{21}(y^2) & 1 - \text{DPU}_{22}(y^2) & \dots & 1 - \text{DPU}_{2n}(y^2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 - \text{DPU}_{m1}(y^6) & 1 - \text{DPU}_{m2}(y^6) & \dots & 1 - \text{DPU}_{mn}(y^6) \end{pmatrix}.$$

В показателе $1 - \text{DPU}_{mn}(y^6)$ учитываются только те дефекты, которые приводят к отклонению единичного показателя качества y^6 по j -й причине. По данному принципу происходит учет дефектов по всем остальным единичным показателям качества.

Причины возникновения дефектов включают в себя:

X_1 – брак покупных комплектующих изделий;

X_2 – использование материалов другого типа;

X_3 – невнимательность исполнителя;

X_4 – износ инструмента;

X_5 – неправильная транспортировка и укладка деталей;

X_6 – утяжка после сварки.

Методы условной оптимизации для оценки уровня качества модуля навигационной системы

Для описанной модели мониторинга показателей качества используются такие методы условной оптимизации, как:

- многокритериальное линейное программирование;
- целевое программирование.

Метод линейного программирования основан на поиске минимизирующей (максимизирующей) последовательности точек $x \in X \left[x : F(c, x) \xrightarrow{x \rightarrow x} \inf(\sup) F(c, x) \right]$ для нахождения условно оптимальной целевой функции. Множество допустимых точек X формируется матрицей вида $Ax = b$.

При включении в задачу нескольких критериев необходимо найти условно оптимальное значение целевых функций на допустимом множестве значений X .

Для примера используют значения коэффициентов значимости $m_1, m_2 = [0,6; 0,4]$.

Аналитическое выражение с учетом единичных показателей МНС и функции (3) примет вид

$$Q = \max(F_1 \times 0,6 + F_2 \times 0,4);$$

$$F_1 = c_1 w_1 + c_2 w_2 + c_3 w_3 + c_4 w_4 + c_5 w_5 + c_6 w_6 = \inf F_1(c_i, w_i);$$

$$F_2 = z_1 w_1 + z_2 w_2 + z_3 w_3 + z_4 w_4 + z_5 w_5 + z_6 w_6 = \sup F_2(c_i, w_i);$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 - \text{DPU}_{11}(y^1) & 1 - \text{DPU}_{12}(y^1) & \dots & 1 - \text{DPU}_{1n}(y^1) \\ 1 - \text{DPU}_{21}(y^2) & 1 - \text{DPU}_{22}(y^2) & \dots & 1 - \text{DPU}_{2n}(y^2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 - \text{DPU}_{m1}(y^6) & 1 - \text{DPU}_{m2}(y^6) & \dots & 1 - \text{DPU}_{mn}(y^6) \end{pmatrix} \times \begin{matrix} w_1 \leq b_1 \\ w_2 \leq b_2 \\ \dots \leq b_i \\ w_6 \leq b_6. \end{matrix}$$

Ограничения для систем линейных уравнений определяются следующим образом. Если частные значения i -го уравнения отличны от 1, то в правую часть ставится среднее значение этих величин со знаком \geq . Если все частные значения i -го уравнения равны 1, то в правую часть ставится число 1 со знаком \leq . Пример данных по единичным показателям и решения задачи представлены в табл. 1.

Оценка уровня качества производимого изделия равна

$$Q = 0,812 \times 0,6 + 0,073 \times 0,4 = 0,516.$$

Для улучшения уровня качества МНС необходимо устранить наиболее значимые причины (c_3, c_5, z_3, z_5).

Метод целевого программирования основан на идее сближения целевых функций с некоторым идеальным [4], недостижимым уровнем допустимой области возможных значений переменных y . При этом допустимая область переменных должна входить в множество Парето оптимальных решений. Для определения удаленности найденных значений целевых функций от идеальных значений применяют метрики (меры расстояния). Виды метрик, используемых в целевом программировании, приведены в работе [5].

1. Оценка уровня качества МНС

Константы						Найденное значение	Ограничение
c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	F_1	b_i
0,79	0,71	0,79	0,93	0,86	0,93	0,812	–
$z(x_1)$	$z(x_2)$	$z(x_3)$	$z(x_4)$	$z(x_5)$	$z(x_6)$	F_2	–
0,33	0,125	0,077	0,166	0	0,1	0,073	–
y^1	y^1	y^1	y^1	y^1	y^1	–	–
0,7	0,9	0	1	0	0	0,4333	$\geq 0,433$
y^2	y^2	y^2	y^2	y^2	y^2	–	–
0,6	0,8	1	1	0,9	1	0,883	$\geq 0,883$
y^3	y^3	y^3	y^3	y^3	y^3	–	–
0,9	0,5	0,7	0	1	1	0,683	$\geq 0,683$
y^4	y^4	y^4	y^4	y^4	y^4	–	–
1	1	1	1	1	1	1	≤ 1
y^5	y^5	y^5	y^5	y^5	y^5	–	–
1	1	0,9	0	0,9	1	0,822	$\geq 0,822$
y^6	y^6	y^6	y^6	y^6	y^6	–	–
1	0,8	1	1	1	0,8	0,933	$\geq 0,933$
Найденные весовые значения						–	–
y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	–	–
0,0131	0,333	0,082	0,12	0,448	0	–	–

Способ измерения расстояния в критериальном пространстве выбирают следующим образом:

$$p = \left(\sum_{j=1}^m |y_j^1 - y_j|^p \right)^{1/p}, \quad (4)$$

где $p \geq 1$.

При добавлении коэффициентов значимости к целевой функции способ измерения представляет собой

$$p = \left(\sum_{j=1}^m m_j |F_j^1 - F_j|^p \right)^{1/p}. \quad (5)$$

Для изменения уже поставленной задачи под задачу целевого программирования необходимо включить целевые функции в систему линейных уравнений с ограничениями ≤ 1 . Степень достижения целей будет измеряться по формуле (5).

Решение задачи целевого программирования представлено в табл. 2.

2. Решение задачи целевого программирования

Константы						Найденное значение	Ограничение
c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	F_1	F_1^1
0,79	0,71	0,79	0,93	0,86	0,93	0,835	≥ 1
$z(x_1)$	$z(x_2)$	$z(x_3)$	$z(x_4)$	$z(x_5)$	$z(x_6)$	F_2	F_1^1
0,333	0,125	0,077	0,1667	0	0,1	0,133	≥ 1
y^1	y^1	y^1	y^1	y^1	y^1	–	b_i
0,7	0,9	0	1	0	0	0,433	$\geq 0,433$
y^2	y^2	y^2	y^2	y^2	y^2	–	–
0,6	0,8	1	1	0,9	1	0,883	$\geq 0,883$
y^3	y^3	y^3	y^3	y^3	y^3	–	–
0,9	0,5	0,7	0	1	1	0,683	$\geq 0,683$
y^4	y^4	y^4	y^4	y^4	y^4	–	–
1	1	1	1	1	1	1	≤ 1
y^5	y^5	y^5	y^5	y^5	y^5	–	–
1	1	0,9	0	0,9	1	0,8	$\geq 0,8$
y^6	y^6	y^6	y^6	y^6	y^6	–	–
1	0,8	1	1	1	0,8	0,933	$\geq 0,933$
Найденные весовые значения						–	–
y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	–	–
0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	0,1667	–	–

Оценочное значение, измеренное по формуле (5), составит

$$p = \left(\sum_{j=1}^m m_j |F_j^1 - F_j|^p \right)^{1/p} = \sqrt[2]{0,6 \times |1 - 0,835|^2 + 0,4 \times |1 - 0,133|^2} = 0,562.$$

Решение задачи показало одинаковые весовые значения частных значений целевых функций. Для повышения уровня качества МНС в случае одинаковых весовых значений необходимо ориентироваться на наибольшие частные значения целевых функций.

Заключение

Предлагаемый подход оценки уровня качества многопараметрической продукции основан на принципе уточнения весовых значений частных слагаемых целевых функций путем сбора статисти-

ческой информации. Вычисление весовых значений происходит путем предварительного определения причин возникновения несоответствий по единичным показателям качества. Матрица единичных показателей качества для модели линейного программирования является результатом интерпретации несоответствий по единичным показателям качества через показатель количества дефектов, рассчитываемый по формуле (1).

Решение задачи оценки уровня качества с помощью условных методов оптимизации имеет следующие преимущества по сравнению с классическими методами оценки уровня качества:

- возможность учитывать большое количество единичных показателей качества;
- возможность учитывать как количественные, так и качественные единичные показатели качества продукции;
- определение весов частных значений целевых функций без участия экспертной группы;
- достаточность использования журналов отдела технического контроля в качестве первичной информации для оценки уровня качества производимой продукции, тем не менее для более точной оценки рекомендуется привлекать максимальное количество источников первичной информации.

Библиографический список

1. **Федюкин В. К.** Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции: учеб. пособие. М.: Кнорус, 2013. 315 с.
2. **Елиферов В. Г.** Управление качеством. Сказки, мифы и проза жизни: стандарты ИСО 9000 и система менеджмента. СПб.–М.: Вершина, 2006. 295 с.
3. **Штойер Р.** Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1992. 504 с.
4. **Козлов В. Н.** Системный анализ, оптимизация и принятие решений: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 244 с.
5. **Дюран Б., Оделл П.** Кластерный анализ: пер. с англ. М.: Статистика, 1977. 128 с.

References

1. Fediukin V. K. (2013). *Qualimetry. Measurement of the quality of industrial products: textbook*. Moscow: Knorus. [In Russian language]
2. Eliferov V. (2006). *Quality control. Fairy tales, myths and life prose: ISO 9000 standards and management system*. St. Petersburg, Moscow: Vershina. [In Russian language]
3. Shtoyer R. (1992). *Multiple criteria optimization: theory, computation and application*. Moscow: Radio i sviaz'. [In Russian language]
4. Kozlov V. N. (2011). *System analysis, optimization and decision making: textbook*. St. Petersburg: Izdatel'stvo Politekhnikeskogo universiteta. [In Russian language]
5. Diuran B., Odell P. (1977). *Cluster analysis*. Moscow: Statistika. [In Russian language]

The Fifteenth International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies

CM2018 / MFPT2018

Monday 10 to Wednesday 12 September 2018

East Midlands Conference Centre and Orchard Hotel, Nottingham, UK

Co-located
with NDT 2018

For further information contact: Conferences and Events Department, The British Institute of Non-Destructive Testing, Midsummer House, Riverside Way, Bedford Road, Northampton NN1 5NX, UK.
Tel: +44 (0)1604 438300; Fax: +44 (0)1604 438301; Email: cm_mfpt@bindt.org; Web: www.cm-mfpt.org