

УДК 658.562

В.В. Мирошников, Г. В. Ефимова, Т.В. Королькова

## КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Предложена методика оценки результативности системы менеджмента качества на основе кластерного анализа. Описаны математический аппарат и алгоритмы для оценки изменения результативности. Приведены результаты опытной проверки предложенной методики.

Ключевые слова: система менеджмента качества, результативность, кластерный анализ.

Одним из основных направлений совершенствования управления качеством продукции и повышения конкурентоспособности предприятий в последние годы стала разработка, внедрение и сертификация систем менеджмента качества (СМК) в соответствии с требованиями международных стандартов ИСО серии 9000. С целью повышения эффективности этой деятельности были выполнены исследования и разработки, направленные на улучшение методологии менеджмента качества [1], в том числе разработана методика оценки и повышения результативности СМК и ее процессов [2;3]. Однако вопрос количественной оценки величины отклонения (изменения) результативности остается недостаточно разработанным. В связи с этим в данной статье предлагается методика оценки изменения результативности на основе использования кластерного анализа [5].

**Оценка результативности СМК.** В предлагаемой методике результативность СМК оценивается путем анализа результативности основных процессов менеджмента качества на основе фактических и плановых значений групповых показателей результативности [2;3]. Процессы СМК выделяются в зависимости от специфики деятельности организации, в которой будет применяться предлагаемая методика. Например, в СМК, которая сертифицирована на соответствие требованиям стандарта ГОСТ ISO 9001-2011, выделяют следующие процессы:

1. Ответственность руководства.
2. Менеджмент ресурсов.
3. Процессы жизненного цикла продукции.
4. Анализ СМК.
5. Управление несоответствиями.
6. Улучшение СМК.

Групповые показатели рассчитываются суммированием единичных показателей. Это позволяет получить значение группового показателя, отличное от нуля, даже при нулевом значении одного из единичных показателей.

Для расчета показателей результативности процессов, входящих в СМК, необходимо определиться с критериями результативности, а также весомостью данных показателей. Под критерием следует понимать правило, признак, на основании которого проводится оценка, определение или классификация. В качестве таких критериев выступают единичные показатели результативности.

Определение результативности начинается со сбора фактических значений единичных показателей, необходимых для оценки результативности каждого из процессов СМК.

Затем на основе формул для расчета групповых показателей результативности процессов определяются фактическое и плановое значения результативности каждого процесса, входящего в СМК:

$$R_i^{\phi} = \sum_{j=1}^n k_{ij}^{\phi},$$

где  $R_i^{\phi}$  - фактическое значение группового показателя результативности каждого процесса

СМК;  $k_{ij}^{\phi}$  - фактическое значение единичного  $j$ -го показателя результативности  $i$ -го процесса СМК;  $n$  – количество единичных показателей результативности  $i$ -го процесса СМК;

$$R_i^{nl} = \sum_{j=1}^n k_{ij}^{nl},$$

где  $R_i^{nl}$  - плановое значение группового показателя результативности каждого процесса СМК;  $k_{ij}^{nl}$  - плановое значение единичного  $j$ -го показателя результативности  $i$ -го процесса СМК;  $n$  – количество единичных показателей результативности  $i$ -го процесса СМК.

Для определения изменения результативности СМК предлагается использовать два элемента метода кластерного анализа. Первый связан с определением меры сходства объектов, второй – с мерой близости объектов в евклидовом пространстве.

**Определение меры сходства объектов.** Мерой сходства будем называть величину  $C(S_j, S_k)$ , увеличивающуюся с возрастанием сходства объектов и обладающую следующими свойствами [4]:

$$\begin{aligned} 0 \leq C(S_j, S_k) \leq 1 \text{ для } k \neq j; \\ C(S_j, S_k) = 1 \text{ для } S_j = S_k; \\ C(S_j, S_k) = C(S_k, S_j). \end{aligned}$$

Здесь  $S_k, S_j$  – множества значений признаков, описывающие сравниваемые объекты.

Для примера рассмотрим два объекта. В качестве признаков рассматриваемых объектов используются показатели результативности основных процессов СМК. Один из рассматриваемых объектов содержит фактические значения групповых показателей результативности процессов СМК, а второй – плановые значения данных показателей и, таким образом, является эталонным объектом.

Формируются два множества: множество исследуемых объектов  $S = \{S_1, S_2\}$  и множество признаков  $R = \{R_i^{\phi}, R_i^{nl}\}$ . Примем следующие обозначения:  $S_1$  – система с фактическими значениями признаков,  $S_2$  – система с плановыми значениями признаков. Таким образом, система  $S_1$  будет описываться множеством признаков  $R_i^{\phi}$ , а система  $S_2$  – множеством признаков  $R_i^{nl}$ :

$$\begin{aligned} S_1 &= \{R_i^{\phi} / i \in I\}, \\ R_i^{\phi} &= \{k_{ij}^{\phi} / i \in I, j \in J\}, \\ S_2 &= \{R_i^{nl} / i \in I\}, \\ R_i^{nl} &= \{k_{ij}^{nl} / i \in I, j \in J\}. \end{aligned}$$

Объекты  $S_1$  и  $S_2$  охарактеризованы следующими критериями результативности:  $R_{омв}$  - результативность процесса «Ответственность руководства»,  $R_{мп}$  – результативность процесса «Менеджмент ресурсов»,  $R_{жц}$  - результативность процессов жизненного цикла продукции,  $R_{ан}$  – результативность процесса «Анализ СМК»,  $R_{упр}$  – результативность процесса «Управление несоответствиями»,  $R_{ул}$  – результативность процесса «Улучшение СМК».

Эти характеристики представим в виде следующей матрицы:

	$R_{омв}$	$R_{мп}$	$R_{жц}$	$R_{ан}$	$R_{упр}$	$R_{ул}$
$S_1$	$R_{омв}^{\phi}$	$R_{мп}^{\phi}$	$R_{жц}^{\phi}$	$R_{ан}^{\phi}$	$R_{упр}^{\phi}$	$R_{ул}^{\phi}$
$S_2$	$R_{омв}^{nl}$	$R_{мп}^{nl}$	$R_{жц}^{nl}$	$R_{ан}^{nl}$	$R_{упр}^{nl}$	$R_{ул}^{nl}$

Для определения степени близости реального объекта к объекту, характеризующему плановыми значениями признаков, рассчитывается мера сходства  $C(S_1, S_2)$  по формуле [4]

$$C(S_1, S_2) = \frac{2m(S_1 \cap S_2)}{m(S_1) + m(S_2)} = \frac{2 \sum_{i=1}^6 \min(R_i^{\phi}, R_i^{nl})}{\sum_{i=1}^6 R_i^{\phi} + \sum_{i=1}^6 R_i^{nl}}. \quad (1)$$

Мера сходства характеризует степень близости объектов и имеет значения от 0 до 1.

Чем ближе мера сходства к 1, тем более общими признаками обладают исследуемые объекты.

**Определение меры близости объектов в евклидовом пространстве.** Пусть множество  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$  обозначает  $n$  объектов. Предположим также, что существует некоторое множество наблюдаемых показателей (характеристик), которыми обладает каждый объект из  $I$ . Наблюдаемые характеристики могут быть количественными или качественными. Количественные данные также называют измерениями. Результат измерения  $i$ -й характеристики объекта  $I_j$  будем обозначать символом  $x_{ij}$ , а вектор  $X_j = [x_{ij}]$  будет соответствовать каждому ряду измерений для  $j$ -го объекта. Таким образом, для множества объектов  $I$  будем располагать множеством векторов измерений  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ , описывающим множество  $I$ . Отметим, что множество  $X$  может быть представлено как  $n$  точек в  $p$ -мерном евклидовом пространстве  $E_p$  [5].

Пусть имеются три объекта  $I_0, I_1$  и  $I_2$ , которые образуют множество  $I = \{I_0, I_1, I_2\}$ . Объект  $I_0$  представляет собой систему менеджмента качества, характеризуемую минимальными значениями параметров (нулевыми значениями показателей результативности каждого процесса). Объект  $I_1$  представляет собой систему менеджмента качества, характеризуемую фактическими значениями параметров, полученными в результате анализа ее деятельности. Объект  $I_2$  представляет собой систему менеджмента качества, характеризуемую плановыми значениями параметров, т.е. некую систему, к которой следует стремиться. Каждая из систем характеризуется множеством признаков, которые описываются векторами  $X_0 = [R_i^0]$ ,  $X_1 = [R_i^\phi]$  и  $X_2 = [R_i^{nl}]$ , принадлежащими множеству  $X = \{X_0, X_1, X_2\}$ . В качестве признаков, характеризующих системы, выступают показатели результативности основных процессов СМК.

Таким образом, объект  $I_0$  характеризует вектор  $X_0 = [R_{омв}^0; R_{мп}^0; R_{жц}^0; R_{ан}^0; R_{унр}^0; R_{ул}^0]$ , объект  $I_1$  характеризует вектор  $X_1 = [R_{омв}^\phi; R_{мп}^\phi; R_{жц}^\phi; R_{ан}^\phi; R_{унр}^\phi; R_{ул}^\phi]$ , а объект  $I_2$  характеризует вектор  $X_2 = [R_{омв}^{nl}; R_{мп}^{nl}; R_{жц}^{nl}; R_{ан}^{nl}; R_{унр}^{nl}; R_{ул}^{nl}]$ .

В кластерном анализе для количественной оценки близости вводится понятие *метрики*. Сходство и различие между объектами устанавливаются в зависимости от метрического расстояния между ними. Если каждый объект описывается  $k$  признаками, то он может быть представлен как точка в  $k$ -мерном пространстве. Сходство с другими объектами будет определяться как соответствующее расстояние.

Для того чтобы определить, насколько отличаются объект  $I_1$  и объект  $I_2$ , первоначально необходимо определить расстояние  $d(I_0; I_2)$  между объектами  $I_0$  и  $I_2$ , т.е. наибольшее возможное расстояние между объектами. После этого следует определить расстояние  $d(I_1; I_2)$  между объектом  $I_1$  и объектом  $I_2$ .

Нормированным расстоянием между объектом  $I_1$  и объектом  $I_2$  будем считать отношение

$$N = \frac{d(I_1; I_2)}{d(I_0; I_2)}.$$

Это отношение будет принимать значения  $[0; 1]$ . Если отношение  $N$  близко к 0, то объект  $I_1$  расположен близко к объекту  $I_2$ , если отношение  $N$  близко к 1, то объект  $I_1$  расположен далеко от объекта  $I_2$ .

Для определения расстояния между объектами, которые описываются векторами  $X_0 = [R_i^0]$ ,  $X_1 = [R_i^\phi]$  и  $X_2 = [R_i^{nl}]$ , можно использовать различные меры расстояния, например евклидово расстояние, квадрат евклидова расстояния, манхэттенское расстояние и другие. Выбор метрики полностью лежит на исследователе, поскольку результаты могут существенно отличаться при использовании разных мер.

Определим отношение  $N$ , используя в качестве меры евклидово расстояние. Евклидово расстояние - наиболее общий тип расстояния, который определяет геометрическое расстояние между точками в многомерном пространстве показателей результативности

СМК.

$$d(I_1; I_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^6 (R_i^\phi - R_i^{nl})^2},$$

$$d(I_0; I_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^6 (R_i^0 - R_i^{nl})^2}, \quad (2)$$

$$N = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^6 (R_i^\phi - R_i^{nl})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^6 (R_i^0 - R_i^\phi)^2}}.$$

Определим отношение  $N$ , используя в качестве меры расстояния манхэттенское расстояние. Это расстояние является средним разностей по координатам. Для данной меры влияние отдельных больших разностей (выбросов) уменьшается (так как они не возводятся в квадрат). В этом случае расстояние между объектами, результативность которых оценивается, будет рассчитываться по формулам:

$$d(I_1; I_2) = \sum_{i=1}^6 |R_i^\phi - R_i^{nl}|,$$

$$d(I_0; I_2) = \sum_{i=1}^6 |R_i^0 - R_i^{nl}|, \quad (3)$$

$$N = \frac{\sum_{i=1}^6 |R_i^\phi - R_i^{nl}|}{\sum_{i=1}^6 |R_i^0 - R_i^{nl}|}.$$

Значение  $N$ , близкое к 0, свидетельствует о близости объекта 1 к объекту 2, т. е. о том, что фактическая результативность близка к плановой.

В общем случае предлагаемый алгоритм оценки результативности СМК можно представить в виде блок-схемы, приведенной на рисунке.

Процедура оценки результативности СМК начинается с определения единичных показателей результативности процессов СМК. Для определения единичных показателей результативности процессов СМК необходимо выполнить следующий порядок действий:

1. Определить потребителей процесса.
2. Определить требования и ожидания потребителей процесса.
3. На основе полученной информации сформулировать единичные показатели результативности и формулы для их количественного определения.

После определения единичных показателей результативности процессов СМК проводится сбор информации и расчет фактических и плановых значений единичных показателей, необходимых для оценки результативности каждого из процессов, входящих в СМК.

В качестве плановых показателей результативности для всех критериев рекомендуется принимать 1.

Затем на основе формул для расчета групповых показателей определяются фактическое и плановое значения результативности каждого процесса, входящего в систему.

После определения результативности всех процессов рассчитывается мера сходства  $C(S_j, S_k)$  или нормированное расстояние между объектами  $N$ .

На основе рассчитанных показателей делается вывод о степени результативности

функционирования СМК.

Если в результате анализа оказалось, что система функционирует результативно, то разрабатываются мероприятия по улучшению функционирования системы с целью повышения её результативности.

Если по результатам анализа выявлено, что система функционирует нерезультативно, то необходимо определить несоответствия и причины их возникновения, а также разработать и внедрить комплекс корректирующих мероприятий.

Опытная проверка разработанной методики была проведена на предприятии «ЗАО «Группа Кремний Эл» при оценке результативности системы менеджмента метрологического обеспечения (СММО).

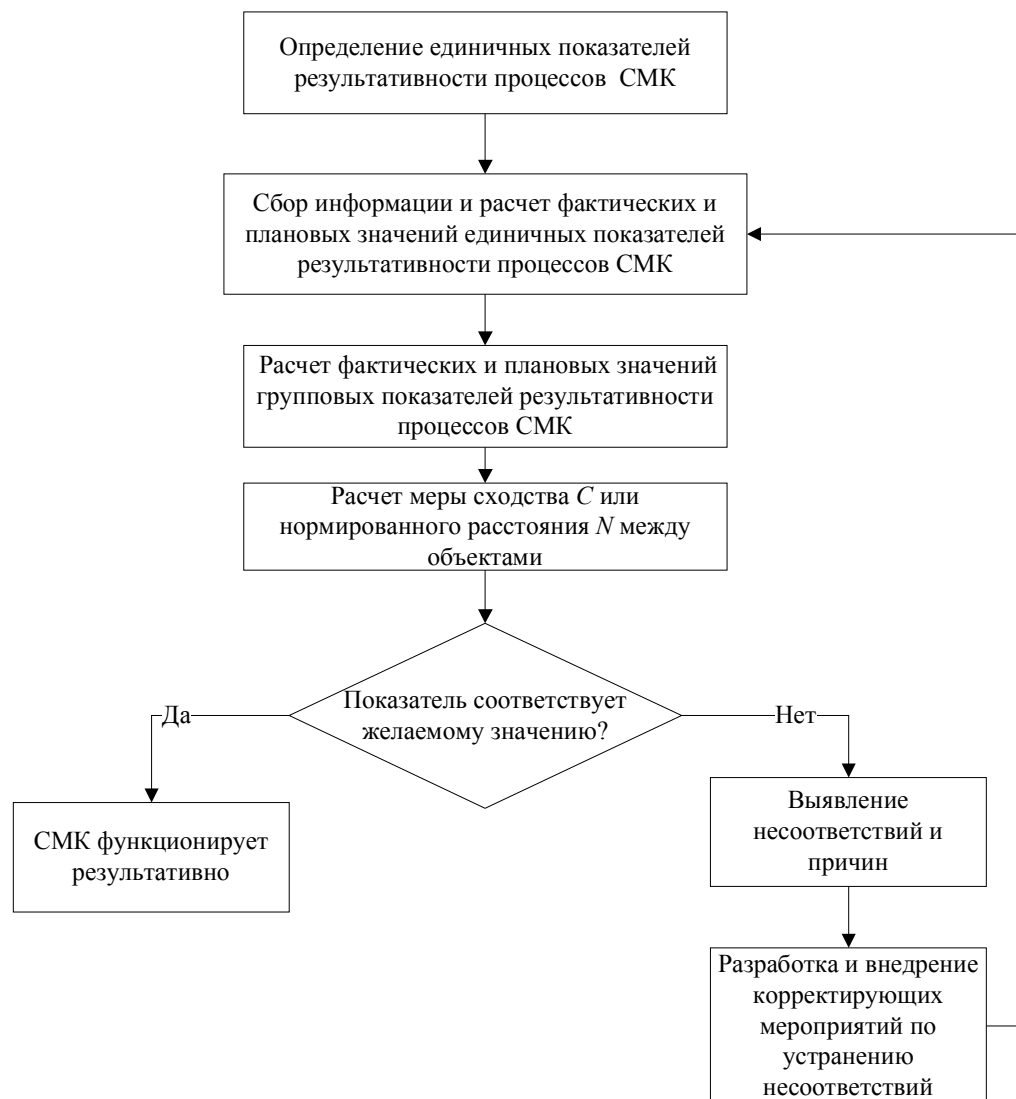


Рис. Блок-схема алгоритма оценки результативности системы менеджмента качества

В СММО были выделены следующие основные процессы менеджмента качества [3]:

1. Ответственность руководства.
2. Менеджмент ресурсов.
3. Обеспечение пригодности оборудования и процессов измерений.
4. Анализ СММО.

- 5. Управление несоответствиями.
- 6. Улучшение СММО.

На основе полученных данных по предлагаемой методике были рассчитаны фактические и плановые значения результативности основных процессов (таблица).

Таблица

Результативность процессов системы менеджмента метрологического обеспечения предприятия

Процесс	Фактическое значение результативности $R_i^\phi$	Плановое значение результативности $R_i^{nl}$
1. Ответственность руководства	$R_{омс}^\phi = \sum_{j=1}^f k_{1j}^\phi = 3,6$	$R_{омс}^{nl} = \sum_{j=1}^f k_{1j}^{nl} = 4$
2. Менеджмент ресурсов	$R_{мп}^\phi = \sum_{j=1}^c k_{2j}^\phi = 5,332$	$R_{мп}^{nl} = \sum_{j=1}^c k_{2j}^{nl} = 6$
3. Обеспечение пригодности оборудования и процессов измерений	$R_{мо}^\phi = \sum_{j=1}^d k_{3j}^\phi = 26,546$	$R_{мо}^{nl} = \sum_{j=1}^d k_{3j}^{nl} = 29$
4. Анализ системы менеджмента метрологического обеспечения	$R_{ан}^\phi = \sum_{j=1}^e k_{4j}^\phi = 3,82$	$R_{ан}^{nl} = \sum_{j=1}^e k_{4j}^{nl} = 4$
5. Управление несоответствиями	$R_{ymp}^\phi = \sum_{j=1}^s k_{5j}^\phi = 2,755$	$R_{ymp}^{nl} = \sum_{j=1}^s k_{5j}^{nl} = 3$
6. Улучшение системы менеджмента метрологического обеспечения	$R_{yl}^\phi = \sum_{j=1}^h k_{6j}^\phi = 1,87$	$R_{yl}^{nl} = \sum_{j=1}^h k_{6j}^{nl} = 2$

Расчет результативности СММО проводился по двум предложенным вариантам.

Вариант 1. Значения из таблицы представляются в виде матрицы ( $S_1$  - система с фактическими значениями признаков,  $S_2$  – система с плановыми значениями признаков):

	$R_{омс}$	$R_{мп}$	$R_{мо}$	$R_{ан}$	$R_{ymp}$	$R_{yl}$
$S_1$	3,6	5,3	26,5	3,8	2,8	1,9
$S_2$	4	6	29	4	3	2

Для определения степени близости реального объекта к объекту, характеризующему плановыми значениями признаков, по формуле (1) рассчитывается мера сходства:  $C(S_1, S_2) = 0,95$ .

Поскольку величина меры сходства получилась близкой к 1, то можно сделать вывод, что исследуемая система находится в непосредственной близости от системы с плановыми значениями показателей. Следовательно, можно считать результативность оцениваемой системы менеджмента метрологического обеспечения очень высокой.

Вариант 2. При использовании в качестве меры евклидова расстояния (2) отношение  $N=0,087$ , а при использовании манхэттенского расстояния (3)  $N=0,085$ .

Значение  $N$ , близкое к 0, свидетельствует о близости объекта 1 к объекту 2, т. е. результативность системы близка к плановой. Следовательно, можно считать результативность исследуемой системы менеджмента метрологического обеспечения достаточно высокой.

Таким образом, предложенная методика позволит количественно оценить величину

отклонения (изменения) результативности СМК. Опытная проверка показала работоспособность методики, что позволяет сделать вывод о целесообразности и возможности ее использования на различных предприятиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горленко, О.А. Развитие методологии менеджмента качества / О.А. Горленко, В.В. Мирошников // Вестн. Брян. гос.техн. ун-та. – 2013. - №4. – С.154-158.
2. Ефимова, Г.В. Методика повышения результативности системы менеджмента качества / Г.В. Ефимова, Я.В. Агеенко // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах» ( г.Брянск, 8-9 окт. 2009 г.). – С. 331-336.
3. Ефимова, Г.В. Методика оценки результативности и эффективности процессов метрологического обеспечения в СМК предприятия / Г.В. Ефимова, Т.В. Королькова // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. - 2012. - №3. - С. 41-50.
4. Андрейчиков, А.В. Компьютерная поддержка изобретательства /А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Машиностроение, 1998.-476 с.
5. Дюран, Б. Кластерный анализ /Б. Дюран, П. Одел; пер. с англ. Е.З. Демиденко; под ред. А.Я. Боярского. – М.: Статистика, 1977.-128 с.

Материал поступил в редколлегию 9.10.14.