

## Раздел 5. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ В ЭКОНОМИКЕ

УДК 658.5:519.86

**ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА***Абалдова Светлана Юрьевна (ab0103@rambler.ru)**ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет»*

Важным моментом при оценке результативности СМК предприятия является характеристика скорости и тенденций развития процессов, устойчивости системы менеджмента качества. Однако, такие показатели, как динамика развития системы, устойчивость, колеблемость не нашли отражение в методиках при анализе СМК, что затрудняет оценку тенденций развития СМК в целом. В представленной статье исследуется динамика изменения показателей результативности процессов системы менеджмента качества (СМК) промышленного предприятия посредством применения дискретных аналогов первой и второй производных функции. Методика, разработанная на основе кластерного анализа, позволяет дать объективную оценку уровня устойчивости СМК предприятия.

*Ключевые слова:* система менеджмента качества, результативность, тенденция, колеблемость, устойчивость.

В условиях финансово-экономического кризиса одним из немногих факторов, повышающих конкурентоспособность предприятия является внедрение и развитие системы менеджмента качества (СМК) предприятия. В процессе функционирования системы требуется адекватная оценка ее результативности и формирование обоснованных управленческих решений по выводу предприятия на плановые показатели в области качества.

Проблема оценки результативности СМК представляет большой практический и научный интерес. Во-первых, учитывая процессную модель СМК данная задача представляется достаточно сложной и многоуровневой. В соответствии с процессным подходом, деятельность любого предприятия рассматривается как совокупность бизнес-процессов, которые создают продукты, представляющие ценность для внешних и внутренних потребителей. Таким образом, для успешного функционирования организация должна управлять многочисленными и взаимосвязанными видами деятельности, как системой процессов. С другой стороны, процессный подход позволяет оценивать результативность не только процессов, но и всей системы менеджмента качества с помощью мониторинга функционирования процессов. Во-вторых, существующие подходы к оценке результативности СМК в основном ограничиваются мониторингом и анализом динамики показателей результативности. Они ориентированы на аддитивное свертывание частных критериев результативности по каждому процессу в один.

Обычно результативность СМК определяется на основе интегрального показателя, в обобщенном виде отражающего значения ряда качественных и количественных показателей функционирования предприятия:

$$[x_{it}] \rightarrow IR_t^{(0)}, \quad (1)$$

где  $[x_{it}]$  - показатели результативности  $i$ -ых процессов в момент  $t$ ;

$IR_t^{(0)}$  - интегральный показатель результативности СМК.

Применяемые на практике подходы к оценке результативности СМК отличаются выраженной субъективностью оценки и отсутствием базы управленческих решений, а используемые для расчетов интегрального показателя результативности экономико-математические модели имеют высокую размерность и низкий уровень универсальности. Данные методики не учитывают прошлое состояние системы и соответственно не могут прогнозировать будущее развитие этих процессов. Это в свою очередь ограничивает руководство предприятия в адекватном анализе результативности СМК и принятии решений по ее совершенствованию. В результате возникает необходимость постоянного изучения происходящих изменений данных отношений и появления новых признаков, свойств и явлений с тем, чтобы точно описывать данные процессы. Поэтому постановка задачи исследования динамики системы здесь достаточно содержательна.

Отметим, что при исследовании динамики системы менеджмента качества существуют некоторые проблемы.

Во-первых, качество работы функционирующей СМК во многом определяется формально через мониторинг ее результативности за определенный период времени. На пути построения адекватной системы оценки результативности имеются две проблемы: объективность выбора показателей результативности лицами, ответственными за процесс и оценка влияния этих показателей на общую результативность системы. Что касается первой проблемы, то большинство предприятий, внедривших систему управления качеством, выбирают

показатели результативности бизнес-процессов, не принимая во внимание их значимость, информативность, трудность и рутинность определения. Это в свою очередь приводит к тому, что к отчетному периоду либо нет возможности определить их численно, либо полученные их значения далеки от плановых.

Вторая проблема возникает во время интерпретации проведенной оценки результативности по единичным бизнес-процессам, группам процессов и всей СМК. Это связано с тем, что получаемые значения отдельных показателей не дают возможности провести качественный анализ результативности даже в рамках отдельного процесса, не говоря уже о группе процессов.

В связи с этим одним из важных шагов на пути построения адекватной системы оценки результативности СМК видится использование методов многофакторного анализа данных, к такому можно отнести классификационный анализ без обучения или еще называемый кластерным анализом данных.

Главное назначение кластерного анализа – это разбиение множества исследуемых объектов и признаков на однородные в некотором смысле группы, или кластеры [8,11]. Техника кластеризации применяется в различных областях, например, в маркетинговых исследованиях, когда надо классифицировать огромный массив информации на пригодные для дальнейшей обработки группы. Отличием кластерного анализа от других методов классификации является отсутствие обучающей выборки, т.е. классификация без обучения. Большое достоинство кластерного анализа (КА) в том, что он дает возможность производить разбиение объектов не по одному параметру, а по ряду признаков. Кроме того, КА в отличие от большинства математико-статистических методов не накладывает никаких ограничений на вид рассматриваемых объектов и позволяет исследовать множество исходных данных практически произвольной природы. Это особенно важно, например, при оценке результативности СМК, когда показатели бизнес-процессов имеют разнообразный вид, затрудняющих применение традиционных эконометрических подходов.

По мнению автора, использование кластерного анализа для решения задач принятия решений в области качества определяется рядом причин. Во-первых, эта методика не накладывает особых ограничений на исходные данные, преодолевая тем самым трудности, затрудняющие применение разнородных по своей принадлежности показателей. Во-вторых, кластеры заранее не известны, тем самым при формировании их решается задача получения нового знания о природе исследуемых объектов. Возможность определять степень принадлежности любой переменной тому или иному

классу дает возможность прогнозировать внутренние показатели деятельности предприятия в области качества и составлять среднесрочные планы. Таким образом, предлагаем исследовать динамику развития системы с применением кластерного анализа.

С целью изучения динамики системы мы рассмотрим два основных ее элемента – тенденцию и колеблемость, чтобы дать каждому из них количественную характеристику с помощью специальных показателей.

Тенденция динамики связана с действием долговременно существующих факторов, причин и условий развития системы. Колебания же, напротив, связаны с действиями краткосрочных или циклических факторов, влияющих на отдельные уровни динамического ряда, и отклоняющих их тенденции то в одном, то в другом направлении. Знание величины колеблемости необходимо для создания соответствующих резервов рассматриваемой системы. Изучение и измерение динамики колеблемости, ее типа и связи с обуславливающими ее факторами необходимо для прогнозирования динамических процессов. Следует учитывать, что процесс колеблемости непосредственно связан с процессом устойчивости. Если в динамическом ряду наблюдаются незначительные колебания, то про такой ряд говорят, что он обладает устойчивостью, и наоборот.

Предлагаем для полноты анализа системы менеджмента качества, ввести две характеристики: скорости и ускорения динамики показателей результативности системы, являющиеся разностными аналогами первой и второй производных исследуемых показателей. И на основе нормировки полученных значений разностных аналогов первой и второй производных исследуемых показателей посредством кластерного анализа нормированных показателей построить интегральный показатель для всей системы. Это позволит получить объективные данные об уровне устойчивости системы менеджмента качества предприятия и о динамике ее развития.

Методика расчета интегрального показателя результативности СМК с привлечением разностных аналогов первой и второй производных исследуемых показателей проводится в четыре этапа.

*Этап первый.* Формирование массива значений разностных аналогов первой и второй производных показателей:  $y_i(t)$ ,  $z_i(t)$  с применением следующих формул:

$$y_i(t) = \frac{x_i(t) - x_i(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (2)$$

$$z_i(t) = \frac{y_i(t) - y_i(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (3)$$

где  $y_i$  - разностный аналог первой производной исследуемых показателей;

$z_i$  - разностный аналог второй производной исследуемых показателей;

$\Delta t$  - период времени между моментами регистрации показателей;

$i=1, \dots, n$  - количество показателей результативности процессов.

*Этап второй:* Нормировка полученных значений разностных аналогов первой и второй производных исследуемых показателей по формулам:

$$\tilde{y}_i(t) = \frac{y_i(t) - \bar{y}_i}{\sigma_i^{(y)}} \quad (4)$$

$$\tilde{z}_i(t) = \frac{z_i(t) - \bar{z}_i}{\sigma_i^{(z)}} \quad (5)$$

где  $\tilde{y}_i(t)$ ,  $\tilde{z}_i(t)$  - средние значения показателей;

$\sigma_i^y$ ,  $\sigma_i^z$  - среднеквадратичные отклонения показателей.

*Третий этап:* Кластеризация нормированных показателей. Предлагается использовать разработанную выше методику исчисления интегрального показателя, но применительно к массивам значений  $[y_i]$  и  $[z_i]$ . Критерием выбора количества кластеров является максимальное из минимальных значений F-статистик.

Искомое количество кластеров определяем по формуле:

$$n = \left\{ k : \max_x \left[ \min_i F_i(k) \right] \right\} \quad (6)$$

На *четвертом этапе* производится исчисление интегральных показателей скорости –  $IR'$  и ускорения –  $IR''$  (разностные аналоги первой и второй производных показателей результативности СМК) по формулам:

$$IR' = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_1} k_i} \sum_{i=1}^{n_1} k_i \cdot y_i \quad (7)$$

$$IR'' = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_2} k_i} \sum_{i=1}^{n_2} k_i \cdot z_i \quad (8)$$

где  $y_i$ ,  $z_i$  - значения выбранных показателей;

$n$  - количество полученных кластеров;

$k_i$  - число показателей в  $i$ -м кластере.

Апробация предлагаемой методики проводилась на базе статистических данных по показателям результативности процессов СМК одного из машиностроительных предприятий Ивановской области. Система менеджмента качества на данном предприятии сертифицирована на соответствие требованиям стандарта ИСО 9001: 2000 в 2003 году.

Структура СМК любого машиностроительного предприятия основана на функционировании основных процессов жизненного цикла продукции. Учитывая процессный подход, в рамках СМК предприятия можно выделить следующие процессы: управление производством, проектирование и разработка продукции, подготовка производства, контроль и испытание готовой продукции, процессы управления предприятием и управления персоналом, а также процесс управления СМК. Для выделенных процессов на «входе» используется один или более ресурсов, и в результате этой деятельности «на выходе» создается продукт, представляющий ценность для потребителя.

В рамках СМК рассматриваемого машиностроительного предприятия были выделены основополагающие процессы, а в них группы процессов: основные процессы (управление производством, проектирование и разработка продукции, подготовка производства, контроль и испытания в части готовой продукции), процессы управления (управление предприятием), поддерживающие процессы (управление персоналом), процессы измерения, анализа и улучшения (управление СМК). Результативность процессов оценивалась с помощью мониторинга 35 показателей, отражающих деятельность каждого процесса.

Для того чтобы классифицировать множество состояний системы менеджмента качества и, затем, относить то или иное состояние к существующему классу предлагаем использовать метод нечеткой кластеризации. Существуют два возможных варианта проведения кластеризации [4]:

1. Автоматическое определение количества кластеров;

2. Количество кластеров задается изначально как входной параметр модели.

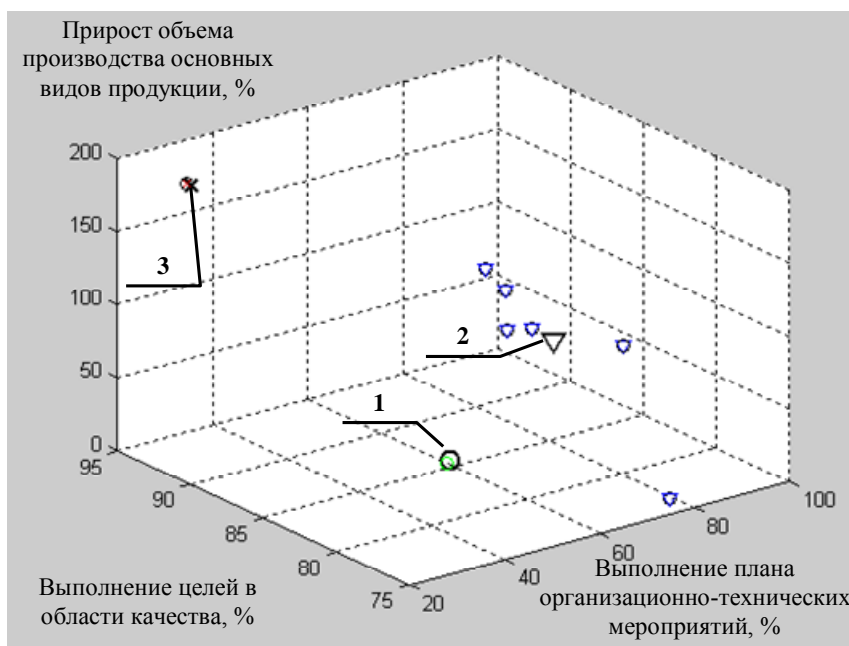
Количество кластеров определяем автоматически, когда система представляет собой

«черный ящик», в таком случае соответственно количество кластеров необходимо определять в модели.

В нашем случае количество состояний заранее предопределено тремя возможными вариантами: «неустойчивая», «устойчивая», «сверхустойчивая» соответственно количество кластеров было выбрано равным  $s=3$ . Значение  $s < 3$  будет не полностью отражать качественные характеристики системы, а  $s > 3$  зада-

вать на данный момент нецелесообразно в виду ограниченности статистической информации по функционированию СМК.

В результате реализации метода нечеткой кластеризации проведена качественная и количественная оценка каждого состояния по всему набору показателей результативности СМК машиностроительного предприятия (рис. 1).



**Рисунок 1. Результаты кластеризации значений показателя оценки состояния**

Отметим, что проведенное разделение обладает хорошим качеством. В результате кластеризации выделены три возможных состояния системы, характеризуемые лингвистическими переменными «устойчивое», «неустойчивое», «сверхустойчивое», определены центры кластеров и рассчитана степень принадлежности каждого состояния системы каждому из кластеров (рис. 1).

Первый кластер соответствует значению IR за 2009 год, где наблюдаются низкие значения показателей результативности по процессам. Если рассматривать изменение IR за период с 2003 по 2010 г., то можно выделить 2009 год, который является посткризисным годом. В этот год многие запланированные показатели функционирования системы менеджмента качества не выполнялись. Ко второму кластеру относятся значения IR за 2003-2008 года. Деятельность предприятия в целом, а также в области качества за эти периоды характеризуется устойчивым и удовлетворительным состоянием системы менеджмента качества на предприятии. Третьему кластеру соответствует значение IR за 2010 год и оценивается как «сверхустойчивое» состояние. Это объясняется выходом ма-

шиностроительного предприятия на полную, близкую к проектной, производственную мощность и соответственно стабильным положением в области качества, характеризующимся высокими значениями показателей результативности процессов, выделенных в рамках СМК. Следует отметить, что степень принадлежности к кластеру становится более явной при увеличении статистических данных по годам.

На следующем этапе, реализуя предложенный выше подход, мы сформировали массив приростов показателей результативности по годам и провели кластеризацию нормированных показателей результативности процессов СМК. Степень общей колеблемости показателей можно оценить с помощью дисперсии значений приростов. Полученный обобщенный показатель этого изменения отражается дисперсией. Предполагается, что чем меньше значение дисперсии в текущем году, тем более устойчива система.

Практическая реализация кластеризации, показала результаты существенно отличающиеся по кластерам для данного предприятия. Примем условно дисперсию самого маленького

кластера за единицу  $\sigma_1^2$ , то есть пусть  $\sigma_1^2 = \sigma^2$ . Тогда, как оказалось,  $\sigma_2^2 = 10\sigma^2$ ,  $\sigma_3^2 = 5\sigma_1^2$ .

Анализируя полученные результаты, отмечаем, что для первого кластера дисперсия всех меньше, в 2009 году самая высокая, а в 2010 году примерно в два раза ниже, чем в 2009 г. Поэтому первый кластер (период 2004-2008 годы) можно интерпретировать как период устойчивости, второй кластер (2009 год) как не устойчивость. Третий кластер (2010 год) занимает промежуточное значение между ними, однако относительно более близок к третьему кластеру, что можно определить как переходное состояние от неустойчивости к устойчивости.

Что касается производной второго порядка, то в нашем случае ее характеризуют приросты второго порядка:  $(z_i = \Delta y_1 - y_{i-1})$ .

Получены значения дисперсии:  $\sigma_1^2 = 8\sigma^2$ ;

$\sigma_2^2 = 5\sigma^2$ ;  $\sigma_3^2 = 2\sigma^2$ . Анализ полученных результатов показал, что для третьего кластера дисперсия всех меньше, для первого самая высокая, а для второго примерно в два раза выше, чем для третьего. Таким образом, третий кластер (период 2005, 2006, 2008, 2009 годы) можно оценивать как период устойчивости, второй кластер (2007 год) как не устойчивость. Второй кластер относительно близок к третьему кластеру и оценивается как переходное состояние от неустойчивости к устойчивости.

Результаты расчетов по рассматриваемому предприятию приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Значения показателей результативности СМК в расширенной трактовке

Интегральный показатель результативности СМК	Значения показателей по годам	
	2008	2010
$IR$	1,6402	1,450
$IR'$	0,0362	1,0024
$IR''$	0,2004	-0,876

В таблице приводятся значения интегральных показателей результативности  $IR$  и значения обобщающих показателей скорости изменения системы  $IR'$  и ускорения  $IR''$  за два периода. Рассматривая значение данных показателей, можно сказать, что СМК на предприятии работает результативно, динамика ее развития положительная, однако отрицательное значение показателя  $IR''$  за 2010 год говорит о замедлении развития системы.

Отметим в заключении, что практическая реализация предложенной методики позволит судить о динамике развития системы качества на предприятии и дать объективную оценку уровня устойчивости СМК.

## Литература

1. Андерсен, Б. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования / Б. Андерсен, пер. с англ. С.В. Ариничева; науч. ред. Ю.П. Адлер. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2003. – 272 с.
2. Аристов, О.В. Управление качеством: учеб. / О.В. Аристов. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 240 с.: ил.
3. Волынский, В.Ю. Анализ практики реализации методических подходов к оценке ре-

зультативности систем менеджмента качества / В.Ю. Волынский, С.Ю. Абалдова // Фундаментальные исследования. – 2009. – №3. – С. 112 – 115.

4. Волынский В.Ю., Абалдова С.Ю. Модель оценки результативности системы менеджмента качества машиностроительного предприятия на основе метода нечеткой кластеризации. // Сб. науч. трудов ВУЗов России / Проблемы экономики, финансов и управления производством. 27 вып. / Отв. ред. В.А. Зайцев. – Иваново: ГОУ ВПО «ИГХТУ», 2009 С.166-173.
5. Герасимова, Е.Б. Управление качеством / Е.Б. Герасимова, Б.И. Герасимов, А.Ю. Сизикин; под ред. Б.И. Герасимова. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 256с.
6. Глухов, В.В. Математические методы и модели для менеджмента: учеб. пособие / В.В. Глухов, М.Д. Медников, С.Б. Коробко. – СПб.: Лань, 2005. – 524 с.
7. Дюран, Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Одел; пер. с англ – М.: Статистика, 1977. – 125 с.
8. Заде, Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе // Классификация и кластер / под ред. Дж.Вэн Райзина.– М: Мир, 1980. – С. 208 – 247.

9. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб для вузов / Н.Ш. Кремер. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 573 с.
10. Красс, М.С. Математика в экономике. Математические методы и модели: учеб. / М.С. Красс, Б.П. Чупрынов. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 544 с.
11. Мандель, И.Д. Кластерный анализ / И.Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.

УДК 332.012.2

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ФАКТОРОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ МЕТОДОМ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Горелко Георгий Петрович ([gheorghigorelco@gmail.com](mailto:gheorghigorelco@gmail.com))

Коровин Дмитрий Игоревич

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им.В.И.Ленина»»

В статье моделируется и анализируется динамика изменения некоторых факторов социально-экономической системы России с помощью теории графов. Для анализа основных показателей модели (в том числе тех показателей, не поддающихся непосредственному количественному измерению), предлагается решение некоторой оптимизационной задачи. В статье выполнен анализ зависимости между ценами на нефть, на импорт, динамикой благосостояния различных групп населения и их влияния на государство (правительство).

**Ключевые слова:** социально-экономическая система, колебания, сбалансированность, матрица сопряженности, знаковый орграф.

Социально-экономические системы (СЭС) характеризуются неоднородностью, разнохарактерностью составных элементов и связей, структурным разнообразием. Такие системы являются открытыми и обладают способностью к сложному поведению, способны к самоорганизации и саморазвитию с течением времени. Под *открытой* системой принято понимать систему, находящуюся под постоянным воздействием многочисленных факторов внешней среды, которые могут позитивно или негативно влиять на деятельность системы. Ответной реакцией системы на эти факторы является принятие решений либо по их устранению, либо по их приспособлению к ним его внутренней среды.

В силу своей сложности поведение СЭС требует тщательного изучения. Для этого существует множество методов, целями которых является определение наиболее оптимального варианта развития СЭС. Однако сегодня экономическая и политическая нестабильность, определяющие высокий риск, повышают интерес к применению частных методов моделирования ежеминутной ситуации. Учитывая, что социально-экономическая система (СЭС) слабо структурирована и многие показатели системы обладают высокой неопределенностью, целесообразно исследовать варианты сочетания потенциальных ситуаций и разрабатывать такие мероприятия, реализация которых «не навредит» в широком спектре потенциальных возможностей. «Оптимальные» в классическом понимании методы отказывают в таком подходе. Даже в вариативных статистических методах выводы сводятся к построению «наиболее

ожидаемого сценария», выбор которого основан на применении закона больших чисел.

Для «сценарных» исследований СЭС в работе применяются методы имитационного моделирования. Модели имитационного моделирования, широко применяются в различных областях, в том числе и в экономике (некоторые специалисты (Н.Н.Моисеев, Ю.Б.Колесов, Ю.Б.Сениченков) указывают на то, что сам термин "имитационное моделирование" в русском языке нонсенс. Действительно, любая модель - имитационная, ведь она только имитирует реальность. Правильнее в такой ситуации использовать английский термин "simulation modeling"). В настоящее время ее используют как для решения задач внутрифирменного управления, так и для моделирования управления на макроэкономическом уровне. Проведение серий имитационных экспериментов позволяет исследователю анализировать нетривиальное поведение системы и на ее основе принимать решения, вырабатывать стратегию развития.

С развитием средств вычислительной техники и программного обеспечения проведение таких экспериментов возможно с помощью различных программных продуктов, поэтому имитационные модели являются наиболее популярными среди широкого круга экспертов. Связано это с тем, что проведение реальных экспериментов с экономическими системами, по крайней мере, неразумно, требует значительных затрат и вряд ли осуществимо на практике. Таким образом, имитация является единственным способом исследования систем без осуществления реальных экспериментов.