

*О. А. КАТРИЧ*, соискатель, УИПА, Харьков

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Проведен анализ требований международных стандартов на системы менеджмента качеством предприятий, который показал необходимость оценивать и управлять процессами, а так как они различны, то для этого нужно применять разные подходы. Рассеивания показателей качества некоторых процессов во времени показал выполнение принципа эргодичности и регулярности, что позволяет для его управления применять теорию цепей Маркова. Показан алгоритм получения матрицы перехода.

**Ключевые слова:** международный стандарт; менеджмент; прогнозирование; процесс; квалиметрия; цепи Маркова; рассеивание

**Введение.** Последние два десятилетия украинские предприятия и организации активно разрабатывают и внедряют системы менеджмента качества (СМК), но большинство из них не смогли добиться улучшения экономических показателей. Наиболее серьезной причиной, препятствующей достижению желательного эффекта, заключается в отсутствии методов и методик количественной оценки качества процессов и системы в целом. Таким образом, встает вопрос о необходимости выработки критериев, а также создания методов параметрического анализа и комплексного оценивания процессов СМК предприятий, доведенных до практической реализации.

Анализ требований международных стандартов ISO серии 9000 подтверждает необходимость оценивания процессов системы менеджмента качества (СМК). Так, например, в разделах стандарта [1] указано, что организация должна осуществлять мониторинг, измерять и анализировать процессы. Поскольку, предприятия, которые в современных условиях развития производства стремятся произвести конкурентоспособную продукцию, обязаны выполнять изложенные в стандарте требования, то актуальной является задача разработки методов оценивания и прогнозирования процессов СМК.

Целью работы является проанализировать рассеивание показателей качества процессов во времени и определить оптимальный математический аппарат для их прогнозирования.

**Анализ работ и постановка задачи.** Анализ научной литературы по квалиметрии [2 - 6] показал, что не приемлемо для оценивания СМК применять существующие методики оценивания по разным причинам. Во первых не существует одинаковых систем на различных предприятиях, так как их сложность зависит от вида выпускаемой продукции или услуги, масштабов и структуры предприятий, от квалификации персонала и многих других факторов. Во вторых не существует единой методики оценивания, так как каждое предприятие должно самостоятельно определить цели в области качества и показатели качества системы, в зависи

мости от этапа ее развития и совершенства. Кроме этого большое разнообразие квалитетических методов оценивания требует глубокого научного исследования в части оптимальности и эффективности их использования для каждого конкретного случая.

Так как СМК постоянно совершенствуются, постоянно развиваются инструменты и методы управления, постоянно прогрессируют информационные технологии, коммуникационные системы, появляются и быстро распространяются новые управленческие концепции, то появляется необходимость решения научно-практической задачи - оценивания процессов как объекта квалитетрии.

Анализ работ отечественных и зарубежных авторов, посвященных количественному оцениванию процессов и СМК предприятий показал, что они основываются на определении результативности и эффективности, однако значения данных показателей можно получить уже после выпуска продукции или предоставления услуг, что не дает возможности оперативно управлять процессом.

**Применение цепей Маркова, для оценивания процесса во времени.** В соответствии с [7], процесс – это совокупность взаимосвязанных видов деятельности, которые превращают входы на выходы. Другими словами, это модель "черный ящик", выходом которой является результаты измерений в количественном выражении. Среди таких процессов могут быть любые технологические или управленческие процессы, которые возможно оценить.

Для решения задач управления в социологии, биологии и естественнонаучных дисциплинах используются цепи Маркова, однако теория марковских процессов из-за относительной сложности своего математического аппарата не находила до сих пор должного применения в изучении процессов в социально-экономических системах, которой является СМК.

В теории марковских цепей принимается, что закон распределения ординаты процесса в любой будущий момент времени  $t(1)$  зависит только от значения ординаты в данный момент времени  $t(0)$  и не зависит от того, какие ординаты имела функция в прошлом. Таким образом, теория марковских процессов позволяет исследовать ряд задач, касающихся переходных процессов, решение которых методами корреляционной теории получить невозможно.

Прежде чем использовать теорию марковских процессов для оценивания процессов, необходимо определить к какому классу принадлежит тот или иной процесс. Рассмотрение точечной диаграммы действительных показателей качества одного из процессов показано на рис. 1. Из рис. 1 видно, что: 1) процесс может перейти из одной зоны заданного интервала в противоположную, например: переход  $A_0$  в  $A_1$  или наоборот переход  $A_1$  в  $A_2$ ; 2) процесс может продолжать движение в том же

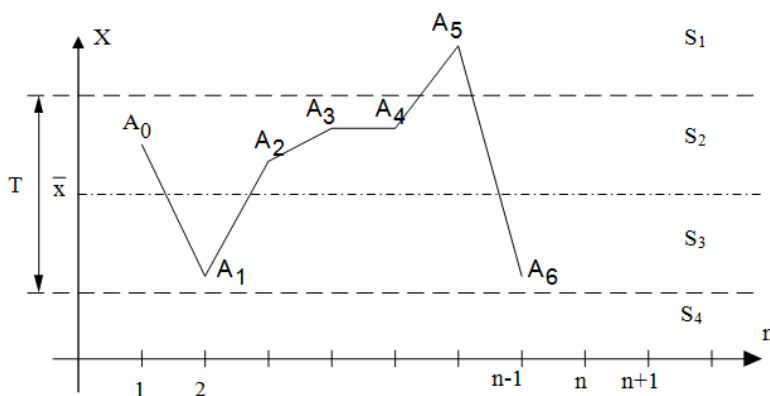


Рис. 1 – Характерные случаи распределения показателей процессов

одной зоны заданного интервала в противоположную, например: переход  $A_0$  в  $A_1$  или наоборот переход  $A_1$  в  $A_2$ ; 2) процесс может продолжать движение в том же

направлении, переход А2 в А3; 3) процесс может оставаться на достигнутом уровне, переход А3 в А4; 4) процесс может выходить за пределы интервала с возвратом в его пределы, переход А4 в А5 в А6. Отсюда можно сделать вывод, что рассеивание показателей качества такого процесса является эргодическим и регулярным, что позволяет для его управления применять цепи Маркова.

Поскольку результат процесса может находиться в одном из N состояний, то для каждого момента времени  $t_k$  необходимо задать  $N^2$  вероятностей перехода  $p_{ij}$ , которые удобно записать в виде матрицы:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1N} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{N1} & p_{N2} & \dots & p_{NN} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

В обозначениях  $P_{ij}$  первый индекс означает состояние процесса в предшествующий момент времени, а второй указывает на возможное состояние системы в последующий момент.

Покажем методику определения переходной матрицы  $P_{ij}$ , для чего разобьем поле рассеяния (Т) действительных значений результата процесса на шесть зон (рис. 2) [8]. Ширина каждой зоны устанавливается равной среднеквадратическому отклонению. Середина соответствует среднему арифметическому значению ( $\bar{X}$ ).

Воспользуемся классическим определением вероятности наступления события: вероятность наступления события  $P(A)$  есть отношение числа элементарных событий, произошедших  $A(M)$  к числу всех возможных элементарных событий  $A(N)$ .

На первом этапе подсчитываем частоту нахождения процесса в соответствующей зоне  $S_i$  (рис. 2).  $N_i = \sum S_i$  – количество попаданий в зону  $S_i$

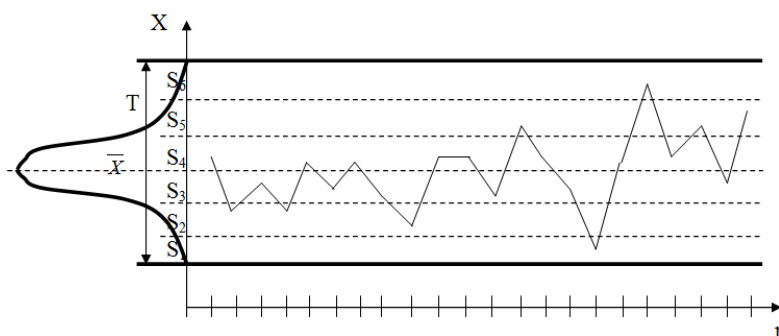


Рис. 2 – Точечная диаграмма распределения показателей процесса

На втором этапе подсчитываем количество переходов из  $i$ -й зоны в любую другую  $M_{ij}$ , например: сколько раз процесс из зоны  $S_2$  перешел в зону  $S_5$ , после чего считаем сколько было переходов из той же зоны  $S_5$  в зону  $S_2$  и т.д. Составим вектор-столбец попадания процесса в соответствующую зону:

$$N_i = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \\ n_6 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$M_j = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \dots & \dots & \dots & M_{1n} \\ M_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{n1} & \dots & \dots & \dots & \dots & M_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Количество переходов из  $S_i$ -ой зоны в  $S_j$ -ю составляет матрицу  $M_{ij}$ .  
Вероятность перехода  $P_{ij}$  определяем согласно соотношения:

$$P_{ij} = \frac{M_{ij}}{N_i} \quad (4)$$

$$P_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & \dots & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & \dots & \dots & \dots & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5)$$

Особенность данной матрицы состоит в том, что в каждой строке записаны вероятности всех возможных переходов из выбранного состояния, в том числе и переход в самое себя. Эти переходы образуют полную группу событий, так что сумма вероятностей каждой строки равна единице. Т.е. матрица перехода - это непременно квадратная матрица с неотрицательными элементами, образующими по строкам единичную сумму. Матрицы такого рода в литературе называются стохастическими [9].

Вероятности перехода - важнейшие характеристики любой марковской цепи, однако, они по определению являются условными, и поэтому значение матрицы перехода не полностью определяет цепь Маркова. Если отнести матрицу перехода к первому шагу, определяющему начало работы системы, то для исключения условности необходимо задать еще вероятности начальных состояний - начальные условия.

Вероятности начальных состояний  $p_1^{(0)}, p_2^{(0)}, \dots, p_N^{(0)}$  являются безусловными вероятностями и образуют матрицу-строку  $P_0 = (p_1^{(0)}, p_2^{(0)}, \dots, p_N^{(0)})$ , сумма элементов которой по условию нормировки должна быть равна единице. Характер распределения вероятностей начальных состояний целиком определяется условиями задачи. В частности, в начальный момент система может находиться в каждом из  $N$  состояний с равной вероятностью. При этом  $p_i^{(0)} = 1/N$  для всех  $i$ .

Матрица перехода дает исчерпывающее представление о вероятностях возможных переходов за один шаг. Естественно возникает вопрос: как рассчитать вероятности того, что система, находящаяся в данный момент в состоянии  $S_i$ , перейдет в состояние  $S_j$  за  $2, 3, \dots, n$  шагов. Иными словами, требуется найти матрицы перехода для заранее заданного числа шагов, если известна матрица перехода за один шаг.

Для однородной цепи Маркова вероятность перехода системы из  $i$ -го состояния в  $j$ -е за два шага  $p_{ij}(2)$  определяется следующим очевидным соотношением, которое учитывает все возможные пути перехода [10]

$$p_{ij}(2) = \sum_{i=1}^N p_{ij} p_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

где  $p_{ij}$  - элементы заданной матрицы перехода за один шаг.

Совокупность вероятностей перехода за два шага  $p_{ij}(2)$  составляет матрицу перехода за два шага  $P(2)$ :

$$P(2) = \begin{pmatrix} p_{11}(2) & p_{12}(2) & \dots & p_{1N}(2) \\ p_{21}(2) & p_{22}(2) & \dots & p_{2N}(2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{N1}(2) & p_{N2}(2) & \dots & p_{NN}(2) \end{pmatrix} \quad (7)$$

Соотношение (7) позволяет заключить, что матрица  $P(2)$  является произведением двух одинаковых матриц перехода, т.е.  $P(2) = P * P = P^2$

Аналогично вероятность перехода системы из  $i$ -го в  $j$ -е состояние за три шага  $p_{ij}(3)$  можно вычислить по формуле:

$$p_{ij}(3) = \sum_{i=1}^N p_{ij}(2) p_{ij} = \sum_{i=1}^N p_{ij} p_{ij}(2) \quad (8)$$

Это означает, что матрица перехода за три шага  $P(3)$  равна произведению матриц перехода за один и два шага:

$$P(3) = P(2)P = P * P(2) = P^3 \quad (9)$$

Ясно что матрица перехода за  $n$  шагов  $P(n)$  вычисляется как  $n$ -я степень матрицы перехода за один шаг:

$$P(n) = P^n \quad (10)$$

Зная матрицу перехода (10) можно решать ряд практических задач по оцениванию и управлению процессов СМК, а именно прогнозировать состояния процесса на некоторое время вперед, оценивать близость показателей процесса к предельно-допустимым границам и др., что позволит управлять процессом, влияя на показатели его качества.

**Выводы.** Анализ требований международных стандартов ISO серии 9000 подтверждает необходимость оценивания процессов системы менеджмента качества. В разделах международных стандартов (п. 4.1; п. 5.6.2; п. 8.1; п. 8.4) указано, что организация должна осуществлять мониторинг, измерять и анализировать процессы. Анализ рассеивания показателей процесса во времени показал выполнение принципа эргодичности и регулярности, что позволяет для его управления применять теорию цепей Маркова. 3. Предложен алгоритм получения матрицы вероятностей перехода, что дает возможность решать ряд практических задач по оцениванию и управлению процессами.

**Список литературы:** 1. Системи управління якістю. Вимоги: ДСТУ ISO 9001:2009. – [Чинний від 2009-09-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 72 с. – (Національний стандарт України). 2. Азгальдов Г. Г. О квалиметрии [Текст] / А. А. Азгальдов, Э. П. Райхман. // Издательство стандартов, – М - 1973 – 172с. 3. Байцар Р. І. Стандарти ISO серії 9000: еволюція підходів до

управління якістю [Текст] / *Р. І. Байцар, А. В. Гунькало* // Збірник матеріалів VI Всеукраїнського науково-практичного семінару „Якість: проблеми та рішення”. – Х., 2006 – С. 35-36.**4.** *Бичківський Р. В.* СУЯ: оцінювання ефективності функціонування [Текст] / *Р.В. Бичківський, А. В. Гунькало* // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. – № 4. – С. 42-46.**5.** *Федюкин В. К.* Основы квалиметрии. Управление качеством продукции. [Текст] / *В. К. Федюкин.* – М.: Информационно-издательский дом «Филинъ», - 2004. – 296 с.**6.** *Шакин Ю.* Объективно оценивать качество [Текст] / *Ю. Шакин* // Стандарты и качество. – 1966. – № 11.**7.** Системи управління якістю. Основні положення та словник: ДСТУ ISO 9000:2007. – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 72 с. – (Національний стандарт України).**8.** *Арпентьев Б.М.* Алгоритм системы управления точностью обработки [Текст] / *Арпентьев Б.М., Гордеев А.С., Триш Р.М.* // Вестник Харьковского государственного политехнического университета: Машиностроение. – Харьков – 1999 – вып. 54 – с. 7-11.**9.** *Кемени Дж.* Конечные цепи Маркова. [Текст] / *Кемени Дж, Снелл Дж.*// Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука» - 1970 – 320с.**10.** *Казаков В.А.* Введение в теорию Марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи. [Текст] / *Казаков В.А* // М., «Советское радио» - 1973 - 232с.

**Bibliography (transliterated):****1.** *Kazakov, V. A. (1973). Vvedenie v teoriuu Markovskikh protsessov i nekotorye radiotekhnicheskie zadachi. [Introduction to the theory of Markov processes and some radiotechnical problems].* Moscow: "Sovetskoe radio".**2.** *Fedyukin, V. K. (2004). Osnovy kvalimetrii. Upravlenie kachestvom produktcii [Fundamentals qualimetry. Quality management product].* Moscow: Informatsionno-izdatelsky dom "Filin".**3.** *Azgaldov, G. G. & Rajchman, E. P. (1973). O kvalimetrii. [About qualimetry].* Moscow: Izdatelstvo standartov.**4.** *Kemeni, J. & Snell, J. (1970). Konechnye tspi Markova. [Finite Markov chains].* Glavnaiia redaktsiia fiziko-matematicheskoy literatury izdatelstva "Nauka".**5.** *Shakin, Y. (1966) Obektivno otsenivat kachestvo. [Objectively assess the quality]. Standartu i kachestvo, 11.***6.** *Bajtcар, P. I. Gunkalo A. V. (2006). Standartu ISO serii 9000: evolutsiia pidxodiv do upravlinnia yakistiu. [Standards of ISO 9000: the evolution of approaches to quality management]. Zbirnik materialiv VI Vseukrainskogo naukovo-practichnogo seminaru "Yakist: problemy i rishennia", 35-36.***7.** *Bychkivskiy, R. V. & Gunkalo, A. V. (2005). SUY: otsiniuvannia efektuvnosti funktsionuvannia. [QMS: assessment of efficiency of functioning]. Standartizatsiia, sertufikatsiia, yakist - Standardization, certification, quality, 4, 42-46.***8.** *Arpentev, B. M., Gordееv, A. S., & Trish, R. M. (1999). Algoritm sistemy upravleniia tochnostu obrabotki. [Algorithm management systems machining precision]. Bulletin of the Kharkov state Polytechnical University: Mashinostroenie. Kharkiv. 54, 7-11.***9.** *Systemy upravlinnia yakistiu. Vumogu. [The quality management system. Requirements]. (2009): DSTU ISO 9001: 2009. from 01.09.2009. Kyiv: Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2009.***10.** *Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia i slovnik. [The quality management system. Fundamentals and vocabulary]. (2008). DSTU ISO 9000:2007. from 01.09.2008. Kyiv: Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2008.*

*Надійшла (received) 11.04.2015*