

А. В. Керов, Ю. С. Клочков, П. В. Купцов, И. П. Васильева, И. А. Абдуллин, Г. Г. Богатеев

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

*Ключевые слова: менеджмент качества, самоорганизация, модели сотрудничества.**Процессы системы менеджмента качества становятся все более независимыми единицами, поэтому анализ их конкуренции за ресурсы организации, построение моделей их сотрудничества, оценка степени влияния результата процесса на конечное качество продукта становятся актуальными задачами.**Key words: quality management, self-organization, collaboration models.**Processes of quality management system are getting more and more independent units therefore high importance are gaining such issues as the analysis of their competition on company's resources, development of their collaboration models, estimation of process result influence on the product quality.***Введение**

Самоорганизация является важным фактором процессов системы менеджмента качества. Функционирование таких процессов обусловлено тем, что они обладают определенной устойчивостью и приспособляемостью к внешним условиям [1]. Знание основных закономерностей самоорганизации позволяет перейти к целенаправленному конструированию искусственных активных сред, деятельность которых проводила бы к образованию нужных структур.

Например, изменение требований потребителя приведет к построению системы повышения квалификации, необходимости консультирования у зарубежных коллег процедурам бенчмаркинга и др. Свойство самоорганизации процесса сводится к его способности совершенствовать свою структуру и технологию реализации в зависимости от окружающей обстановки. В формализованном представлении модель самоорганизации описывается следующим образом. Процесс управления качеством представлен в виде модели сложной системы с входными величинами – требованиями к уровню качества (Q), управляющими воздействиями (B); и выходными сигналами – множеством показателей качества процесса Y.

$$Y=P(B; Q) \quad (1)$$

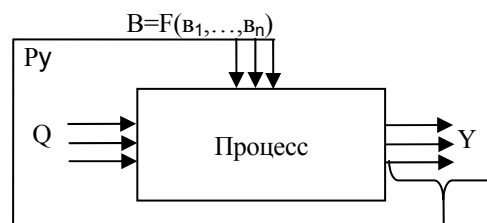
Управляющие воздействия B вырабатываются на основе выходных сигналов Y в системе P_y (рис. 1).

$$B=F(Y, P_y), \quad (2)$$

P_y – набор правил формирования управляющих воздействий.

Формирование управляющих сигналов определяется изменением структуры процесса, корректированием технологии, определением алгоритма реализации и т.д.

Для построения математической модели развития процессов систем менеджмента качества в исследовании использованы работы таких российских и зарубежных ученых и специалистов как Винер Н., Дилигенский Н.В., Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Николис Ж., Повешенко Г.П., Чернавский Д.С., и др.

**Рис. 1 – Система самоорганизации процесса**

Развитие процессов системы менеджмента качества предприятий машиностроения в современных условиях (появление скрытого потребителя, усложнение конструкции, технологии производства и т.д.) в значительной степени осуществляется за счет их самоорганизации. Анализируя причины развития самоорганизующих процессов можно прийти к выводу, что фундаментальным фактором развития является стремление к высокой конкурентоспособности организации, а, следовательно, к построению эффективной системы менеджмента качества [2-6].

1. Оценка производительности процесса

Для оценки производительности процесса воспользуемся отношением качества производимого им продукта ко времени затраченного на его производство (трудоемкость). Качество продукта представим в денежном эквиваленте соответствующим стоимости приобретения.

$$\Pi_i = \frac{P(t)}{t_i} = \frac{\sum_{j=1}^n p_j(t) \cdot k_j(t)}{t_i} \quad (3)$$

где P(t) – уровень качества продукта процесса в стоимостном эквиваленте;

p_j(t) – уровень качества промежуточного продукта процесса;

k_j(t) – коэффициент промежуточного продукта, определяющий его значимость для формирования выпускаемого продукта (выхода);

t_i – время, затраченное процессом на производство продукта (трудоемкость).

Величины p_j(t) и k_j(t) являются функциями времени и могут в значительной степени меняться. В формуле (3) можно учесть среднюю

продолжительность работы ресурса, разделив числитель и знаменатель на нее, тогда:

$$\Pi_i = \frac{P(t) \cdot K}{K \cdot t_i} = \frac{K \cdot \sum_{j=1}^n p_j(t) \cdot k_j(t)}{T_i} \quad (4)$$

где K – средняя продолжительность использования ресурса;

$P(t)$ – уровень качества продукта процесса в стоимостном эквиваленте;

$P_j(t)$ – уровень качества промежуточного продукта процесса;

$k_j(t)$ – коэффициент промежуточного продукта, определяющий его значимость для формирования выпускаемого продукта (выхода);

t_i – время, затраченное процессом на производство продукта;

$T_i = K \cdot t_i$ – общие затраты времени, учитывающие производство продукта и использование ресурсов.

Разделив обе части уравнения (4) на величину $K \cdot S(t)$ получим оценку эффективности процесса системы менеджмента качества.

$$e_i = \frac{\Pi_i}{K \cdot S(t)} = \frac{P(t) \cdot K}{K \cdot S(t) \cdot T_i} = \frac{P(t)}{S(t) \cdot T_i} \quad (5)$$

где $S(t)$ – затраты на использование ресурса;

K – средняя продолжительность использования ресурса;

$P(t)$ – уровень качества продукта процесса в стоимостном эквиваленте;

T_i – общие затраты времени, учитывающие производство продукта и использование ресурсов.

Величина $\frac{P(t)}{S(t)}$ характеризует

целесообразность выпуска продукции. В том случае, когда данное отношение меньше или равно единице, то организация не может рассчитывать на конкурентоустойчивое положение. Только в том случае, когда отношение $\frac{P(t)}{S(t)}$ больше единицы

можно говорить о развитии производства и процессов системы менеджмента качества.

Известно, что процессы системы менеджмента качества постоянно развиваются, так как их основой на любом предприятии является квалифицированный персонал, стремящийся к совершенствованию своей деятельности. Для построения математической модели анализа уровня развития процесса воспользуемся известным алгоритмом моделирования самоорганизованных систем, общий вид модели представлен следующим образом:

$$X(t) = \varphi(o) \frac{dX}{dt} \quad (6)$$

где $\frac{dX}{dt}$ – первая производная;

$\varphi(o)$ – функция, характеризующая ограничения в ресурсах.

Известно, что в любой конкретной системе менеджмента качества выделяются несколько

процессов, тогда (6) становится n -мерной системой дифференциальных уравнений.

$$\frac{X_i}{dx_i} = \varphi(o_1, \dots, o_n) \quad (7)$$

Из этого следует, что развитие процесса зависит от объема выделяемых в рамках системы менеджмента качества ресурсов. Следовательно, модель развития процесса сводится к анализу ограничений. Так как ресурсы системы менеджмента качества ограничены и должны быть распределены между всеми выделенными процессами, то процессы, в данном контексте, выступают в роли конкурентов борющихся за необходимые объемы ресурсов. Значит, можно ввести величину потенциала развития процесса, который может быть представлен за счет усреднения всех (4).

$$E(t) = \sum_{i=1}^n e_i \cdot \varphi_i(o), \quad (8)$$

где $\varphi_i(t)$ – относительная часть ресурсов, выделенная для i -го процесса;

e_i – оценка эффективности процесса.

Тогда можно предположить, что разность потенциалов развития характеризует функцию ограничения.

$$\varphi_i(t) = E_i - E(t) \quad (9)$$

Тогда можно получить систему нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\frac{X_i}{dx_i} = E_i - E(t) = \sum_{j=1}^n (e_i - e_j) \varphi_j, \quad (10)$$

Такая система имеет первый интеграл:

$$\sum_{i=1}^n X_i(t) = 1 \quad (11)$$

Что представляет собой условие конкуренции.

Общее аналитическое решение для рассматриваемой системы можно получить следующим образом.

Из (10) следует, что разность уровней развития процессов равна разности эффективности их развития. Сделано допущение, что процесс полностью реализует свой потенциал.

$$\frac{X_i}{dx_i} - \frac{X_m}{dx_m} = e_i - e_m, \quad (12)$$

Если ввести условное обозначение:

$$y_{im} = \frac{X_i}{X_m}, \quad (13)$$

то получим следующее дифференциальное уравнение:

$$y_{im} = y_{im}(e_i - e_m), \quad (14)$$

В результате можно получить зависимость:

$$X_i(t) = \frac{X_i(t_0)}{\sum_{m=1}^n X_m(t_0) \exp[(e_m - e_i) - (t - t_0)]}, \quad (15)$$

где t_0 – фиксированный, начальный момент времени;

$X_i(t_0)$ – начальные условия на момент построения системы менеджмента качества.

Выражение (15) отвечает структуре логистической модели и определяет результаты моделирования самоорганизующихся процессов [7]. Показывает, что со временем разница в уровнях качества процессов играет все большую роль для обеспечения эффективности системы менеджмента качества, т.е. чем больше разница в уровне качества, тем система менеджмента качества менее эффективна, а, следовательно, и рассматриваемая организация неконкурентоспособна.

2. Модели сотрудничества и конкуренции процессов

Рассмотрим так называемые модифицированные модели Лотки-Вольтерра, активно применяемые для изучения взаимодействия нескольких конкурирующих видов, процессов и т.д. Проанализируем систему двух дифференциальных уравнений, описывающих взаимодействие двух процессов.

$$\begin{aligned}\frac{d\varphi_1}{dt} &= C_1\varphi_1 + a_{12}\varphi_1\varphi_2 + a_{11}\varphi_1^2, \\ \frac{d\varphi_2}{dt} &= C_2\varphi_2 + a_{21}\varphi_1\varphi_2 + a_{22}\varphi_2^2,\end{aligned}\quad (16)$$

где $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$ – объем выделенных процессу ресурсов в момент t .

Линейные члены $C_1\varphi_1$ и $C_2\varphi_2$ в правых частях уравнений соответствуют свободному распределению ресурсов. Если коэффициент $C_i > 0$, то ресурсообеспеченность соответствующего процесса растет (положительная обратная связь), если $C_i < 0$, то уменьшается (отрицательная обратная связь).

Члены $a_{ii}\varphi_i^2$ отражают наличие внутривидовой конкуренции при $a_{ii} < 0$. Если $a_{ii} > 0$, то мы имеем дело с сильной положительной обратной связью, отражающей эффект "группирования", – благоприятное влияние на развитие процессов.

Наиболее интересны в этой модели произведения факторов $\varphi_1\varphi_2$, отражающие взаимодействие двух процессов. Если коэффициенты a_{ij} отрицательны, то процессы конкурируют друг с другом за выделение соответствующих ресурсов. При $a_{ij} > 0$ взаимодействия процессов не является конкурентным (проще выстроить сотрудничество, кооперацию). Если $a_{12} > 0$ и $a_{21} > 0$, то первый процесс использует ресурсы второго.

В литературе рассматривались как более простые системы (часть коэффициентов равна нулю), так и различные обобщения, учитывающие влияние дополнительных факторов. Необходимость обобщений обусловлена таким серьезным недостатком модели Лотки-Вольтерра, как неустойчивость решений системы уравнений. В моделях Лотки-Вольтерра решения могут носить циклический характер, что соответствует практике взаимодействия процессов. Рассмотрим систему двух процессов: производство продукции А и производство продукции Б. Рост объемов производства А ведет к сокращению ресурсов на

производство продукции Б. Вызванный этим дефицит продукции Б приводит к увеличению объемов его производства, что в свою очередь способствует сокращению ресурсов на производство А.

3. Модель накопления и использования качества как конкурентного продукта

В простейшем случае уравнение повышения качества продукции процесса отвечающее одномерной модели (16) имеет следующий вид:

$$\frac{dP}{dt} = k_1P - k_2P^2 \quad (17)$$

где P – уровень качества;

k_1 – факторы, положительно влияющие на улучшение качества и определяющие механизм самоорганизации;

k_2 – факторы, отрицательно влияющие на улучшение качества.

В современной системе менеджмента качества уровень качества выпускаемой продукции не постоянен, а увеличивается с течением времени. В модели оценки качества производимой продукции (17) считается, что прирост качества в том числе за счет самоорганизации пропорционален уже имеющемуся уровню.

$$\frac{dP}{dt} = fP(t). \quad (18)$$

Существующий уровень качества P позволяет получить стабильный доход $Y(t)$, который частично идет на потребление и частично на накопление.

$$Y(t) = w + A, \quad (19)$$

где w – потребляемая часть;

A – накопленная часть, компенсирует выбывающие из строя производственные мощности, а также используется для развития.

С другой стороны доход равен произведению мощности на уровень качества (в денежном эквиваленте), получаемый от единицы мощности. Под мощностью $M(t)$ понимается производство с нулевым уровнем дефектности. Реальный выпуск продукции, естественно, будет зависеть от существующего уровня качества.

$$Y(t) = M(t) \cdot f(x(t)), \quad (20)$$

где $x(t) = P(t)/M(t)$ – по своему смыслу уровень качества получаемый от единицы мощности; $M(t)$ – производство с нулевым уровнем дефектности.

Относительно функции $f(x)$ делаются следующие предположения $f(0) = 0$, $f' > 0$ – увеличение мощности приводит к увеличению качества. Будем считать, что увеличение объемов производимой продукции приводит к снижению ее стоимости без снижения уровня технического исполнения, а, следовательно, повышается уровень качества. Если уровень брака на каждой производственной мощности равен нулю, то $Y(t) = M(t)$. Найти обоснованный способ разделения производственного продукта на потребляемую и накапливаемую части можно за счет критерия учитывающего величину потребляемого качества.

$$c(t) = w(t)/P(t), \quad (21)$$

где $w(t)$ – потребляемая часть;
 $P(t)$ – уровень качества продукции.

Найдем соотношение между потреблением и накоплением, при которых величина потребляемого продукта максимальна (что позволит организовать наиболее выгодные условия для сотрудников предприятия).

$$c(t) = w(t)/P(t) = (Y(t)-A(t))/P(t) \quad (22)$$

Сбереженный в единицу времени продукт $A(t)$ расходуется на создание новой мощности:

$$A(t) = \mu \cdot I(t), \quad (23)$$

где $\mu > 0$ – считается заданным и постоянным характеризующим величину фондообразующего продукта, необходимого для создания единицы новой мощности;

$I(t)$ – единица новой мощности.

Темп выбытия существующей мощности предполагается пропорциональным величине самой мощности, т.е. величине $\beta M(t)$, коэффициент выбытия β остается постоянным.

В итоге для изменения функции $M(t)$ получаем балансное соотношение:

$$dM/dt = I(t) - \beta M(t), \quad (24)$$

где $I(t)$ – единица новой мощности;

β – коэффициент выбытия;

$M(t)$ – производство с нулевым уровнем дефектности.

Предположим, что скорость введения новой мощности пропорциональна величине уже существующей мощности:

$$I(t) = \lambda M(t), \quad (25)$$

Если мощность увеличивается в том же темпе, что и уровень качества, выполняется равенство

$$\lambda - \beta = \mu \quad (26)$$

При этом функция $Y(t)$ будет расти с тем же темпом, что и $w(t)$, и $I(t)$.

Учитывая, что $Y(t) = M(t) \cdot f(x)$, $A(t) = \mu \lambda M(t)$ получаем:

$$c(t) = \frac{f(x(t)) - \mu \lambda}{x(t)}. \quad (27)$$

То есть со временем уровень «потребляемого качества», который необходимо направлять на развитие, как минимум не уменьшается.

Заключение

Основные выводы по результатам исследований:

- построены математические модели развития процессов системы менеджмента качества;
- доказано, что со временем несогласованность в эффективности функционирования процессов системы менеджмента качества становится все более значимой;
- показано, что со временем объем потребляемых ресурсов процессом не уменьшается.

Литература

1. Дилигенский, Н.В. Построение и идентификация математических моделей производственных систем / Н. В. Дилигенский, А.А. Гаврилова, М.В. Цапенко. – Самара: Офорт, 2005. 126 с.
2. И.А.Абдуллин, В.Е.Годлевский, Н.И.Лаптев, Е.Л.Москвичева, Н.Е.Наумова, Г.Г.Богатеев, А.С. Михайлов, Вестник Казанского технологического университета, 14, 13, 152-156 (2011).
3. Абдуллин И.А., Москвичева Е.Л., Богатеев Г.Г., Михайлов А.С., Вестник Казанского технологического университета, 14, 13, 161-168 (2011).
4. И.А. Абдуллин, Е.Л. Матухин, А.И. Туюшева, Г.И. Сафина, Вестник Казанского технологического университета, 15, 10, 273-276 (2012).
5. И.А. Абдуллин, Е.Л. Матухин, А.И. Туюшева, Г.И. Сафина. Вестник Казанского технологического университета, 15, 10, 277-280 (2012).
6. Н.И.Лаптев, Е.Л.Москвичева, П.В.Купцов, И.А. Абдуллин, Г.Г.Богатеев. Вестник Казанского технологического университета, 15, 23, 169-170 (2012).
7. Дилигенский, Н.В. Модельный анализ самоорганизации, порядка и хаоса в развивающихся системах / Н. В. Дилигенский, А.П. Ефимов // Проблемы моделирования и управления в сложных системах. – Самара: изд-во СНЦ РАН, 2003. – Вып.8. – С. 115-122.

© **А. В. Керов** – канд. техн. наук, доцент кафедры технология твердых химических веществ СамГТУ, specpromtex@inbox.ru; **Ю. С. Ключков** – д-р техн. наук, доц., зав. секцией управление качеством кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении СГАУ, assistantssau@mail.ru; **П. В. Купцов** – ведущий инженер ОАО «НПП Краснознаменец», mel0362@yandex.ru; **И. П. Васильева** – аспирант кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении СГАУ, wlada98@mail.ru; **И. А. Абдуллин** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологии изделий из пиротехнических и композиционных материалов, ilnur@kstu.ru; **Г. Г. Богатеев** – канд. техн. наук, доц. той же каф., spektr@kstu.ru.

© **A. V. Kerov** – Ph.D. in Engineering Science, assistant professor of chair of technology of hard chemical agent in Samara's State University of Technology, specpromtex@inbox.ru; **Y. S. Klovchikov** – Doctor of Engineering Science, assistant professor, Principal Officer of quality control in chair of producing of airborne devices and quality control in engineering in Samara's State Aerospace University, assistantssau@mail.ru; **P. V. Kupcov** – advanced engineer of open joint stock company of «Scientific manufacturing facility Krasnoznameneц», mel0362@yandex.ru; **I. P. Vasilieva** – postgraduate chair of producing of airborne devices and quality control in engineering in Samara's State Aerospace University, wlada98@mail.ru; **I. A. Abdullin** – Doctor of Engineering Science, professor, holder of chair «Technologies of products from pyrotechnic and composite materials», ilnur@kstu.ru; **G. G. Bogateev** – Ph.D. in Engineering Science, assistant professor of chair «Technologies of products from pyrotechnic and composite materials», spektr@kstu.ru.