

Машиностроение и машиноведение

УДК 658.5.012.1

DOI: 10.30987/article_5c0f8089609aa4.12565021

Р.Н. Синдеева, И.В. Зотов, Л.М. Червяков, А.А. Жилияев

ОБЩЕСИСТЕМНЫЕ СВОЙСТВА И ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССОВ

Выявлен минимальный набор общих системных свойств и показателей, используемых для характеристики процессов систем менеджмента качества. В общие системные свойства процессов включены: эмерджентность, управляемость, устойчивость, адаптация, эффективность и чувствительность. Даны определения и приведены основные аспекты перечисленных свойств, изученные в работах отечественных и зарубежных ученых. Рассмотрены возможности использования моделей органи-

зации на основе: теории автоматического управления; системы сбалансированных показателей BSC; модели контура управления; комплекса моделей и алгоритмов прогнозирования, анализа и контроля процессов; целевой и ресурсной составляющих эффективности целенаправленного процесса.

Ключевые слова: процесс, система менеджмента качества, процессный подход, свойства процесса.

R.N. Sindeeva, I.V. Zotov, L.M. Chervyakov, A.A. Zhilyaev

GENERAL SYSTEM PROPERTIES AND PROCESS INDICES

The aim of the work consists in the minimum set reveal of general system properties and indices used for the characteristics of processes of quality management systems. To such properties belong: emergence, manageability, stability, adaptation, effectiveness and sensitivity. The possibilities of organization model use on the basis of the theory of automated management, the system of BSC balanced values, the model of a management contour, a complex of models and algorithms of prediction, the analysis and control of processes, purpose and resource constituents of the effectiveness of a purposeful process are considered.

Investigation methods: a system analysis methodology, a management theory.

The analytical review carried out allowed forming a methodical basis for the further study of general system properties and indices, for the definition of their correlations and also for the development of specified indices in the systems of quality management.

The considered general system properties and their indices are basic for the investigation both separate processes and networks of interconnected and interacting processes.

Key words: process, system of quality management, process approach, process properties.

Введение

Система менеджмента качества (СМК) является частью общей системы менеджмента предприятия (организации). Согласно ГОСТ Р ИСО 9000 [1], организация осуществляет менеджмент процессов и их взаимосвязей как системы для результативного и эффективного достижения целей организации в области качества. СМК состоит из взаимосвязанных процессов, каждый из которых представляет собой совокупность взаимосвязанных и/или взаимодействующих видов деятельности, использующих входы для получения требуемого результата.

Оптимизация СМК и результатов ее деятельности зависит от понимания того, каким образом этой системой создаются

результаты. Последовательные и прогнозируемые результаты достигаются более эффективно и результативно, когда деятельность осознается и управляется как взаимосвязанные процессы, которые функционируют как согласованная система [1]. Создание и улучшение СМК напрямую связано с определением взаимозависимости процессов и анализом влияния изменений в отдельном процессе на систему в целом. Известно, что не все процессы в СМК являются одинаково значимыми, поэтому необходимо сосредотачивать усилия на основных процессах и возможностях для их улучшения. Такие улучшения должны быть интегрированы в разработку

новых или модифицированных продукции, услуг и процессов [2].

При исследованиях СМК и ее составляющих нашли применение различные подходы [3-6], общим в которых является применение системного подхода, а поиск возможностей улучшения основан на построении и исследовании моделей процессов [7]. В связи с изложенным задача оп-

Система, ее свойства и составляющие

Существуют десятки определений понятия «система» - S . К одним из первых относится определение [8; 9]

$$S = \langle A, R \rangle, \quad (1)$$

где $\langle \rangle$ - кортеж (упорядоченная последовательность); A - множество элементов $A = \{a_i\}$; R - множество связей между элементами $R = \{r_j\}$, а также

$$S = \langle A, Q_S, R \rangle, \quad (2)$$

где Q_S - свойства системы.

Любая система имеет свойства, под ними понимаются объективные особенности, которые могут проявляться на всех или некоторых этапах жизненного цикла системы, а их показатели характеризуются численными значениями. Значения показателей системы в данный текущий момент времени характеризуют с помощью понятия «состояние». Состояние можно определить через входные воздействия, выходные параметры и свойства элементов системы.

Выявление минимального набора общих системных свойств и показателей процессов

При анализе литературных источников [1; 2] был выявлен набор общих системных свойств процессов, отраженный во всех рассмотренных работах и названный нами минимальным набором. В этот набор включены следующие свойства: эмерджентность ($Q_{S,1}$), управляемость ($Q_{S,2}$), устойчивость ($Q_{S,3}$), адаптация ($Q_{S,4}$), эффективность ($Q_{S,5}$) и чувствительность ($Q_{S,6}$).

Эмерджентность (целостность) - свойство, состоящее в возникновении у системы новых свойств, отсутствующих у ее элементов. Данное свойство имеет три основных аспекта своего проявления, а именно [1; 2]:

ределения общесистемных свойств и их показателей для исследования процессов (сети процессов) является актуальной.

Целью работы является выявление минимального набора общих системных свойств и показателей, используемых для их характеристики, для исследования процессов СМК.

Впоследствии были предложены также следующие определения [8; 9]:

$$S = \langle A, R, Z, SR, \Delta T \rangle,$$

где Z - цель или совокупность целей; SR - среда; ΔT - период времени, в течение которого предполагается существование системы и ее цели;

$$S \subseteq X \times Y,$$

где X - множество входных объектов (воздействующих на систему); Y - множество выходных результатов; \times - отношение пересечения.

Выбор подходящего определения (совокупности определений) системы зависит от конкретных целей ее исследования. Поскольку в данной работе рассматриваются СМК, то системой S является либо процесс, либо сеть процессов предприятия (организации). После отражения структуры системы в виде (1), зная свойства входящих в нее элементов, можно перейти к представлению системы в виде (2).

1) свойства системы (целого) Q_s не являются простой суммой свойств q_i ($i = 1, \dots, n$) составляющих ее n элементов (частей):

$$Q_s \neq \sum_{i=1}^n q_i;$$

2) свойства системы (целого) зависят от свойств составляющих ее элементов (частей):

$$Q_s = f(q_i);$$

3) объединенные в систему элементы, как правило, утрачивают или изменяют часть своих свойств, которыми они обладали вне системы, но в составе системы они могут приобрести новые свойства.

В работах Е.В. Луценко, в том числе в [10; 11], системный эффект, характери-

зующий отличие системы от множества, при котором S содержит больше элементов, чем порождающее множество, выражается полученным автором локальным коэффициентом эмерджентности Хартли j :

$$j = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_m^m}{\log_2 W}, \quad (3)$$

где W - количество базовых элементов в системе; m - сложность составного элемента системы, т.е. подсистемы (количество базовых элементов в составном элементе); M - максимальная сложность подсистем

(максимальное количество базовых элементов в составном элементе).

Этим же исследователем предложено оценивать абсолютную величину $S_{\text{абс}}$ системного эффекта, образуемого за счет объединения 2 систем (множеств A и B) без повторяющихся элементов с правилом запрета в форме ограничения на максимальную сложность подсистем (составных элементов) или количество уровней иерархии в системе, на основе выражения

$$S_{\text{абс}} = \sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m - (\sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m), \quad (4)$$

которое было обобщено и на случай объединения произвольного количества систем.

Поскольку по абсолютному значению величины системного эффекта $S_{\text{абс}}$ трудно установить его значимость, то в

качестве базы сравнения было использовано суммарное количество элементов в исходных системах до объединения и получено выражение для относительной величины $S_{\text{отн}}$ системного эффекта [11]

$$S_{\text{отн}} = \log_2 \frac{\sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m}{\sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m}, \quad (5)$$

также обобщенное на произвольное количество систем.

Рассмотренный подход, основанный на использовании зависимостей (3-5), развит в работах самого автора, а также в работе [12] при исследовании возможности разработки организационных структур управления с максимальным уровнем системности при заданном количестве элементов на основе количественных оценок.

В работе [13] к основным критериям целостности экономических систем отнесен комплекс динамических показателей эффективности (менеджмент системы сбалансированных показателей - *BSC*) деятельности предприятия. Автор считает, что само понятие баланса характеризует оптимальную структуру взаимодействующих элементов системы (клиент, развитие, финансы, хозяйство), а целостность этой структуры определена общей стратегией предприятия. Существенным недостатком *BSC* является отсутствие в ней критериев и средств количественной оценки условий баланса, в то время как сохранение баланса выбранных показателей в процессе реализации стратегии равнозначно сохранению целостности самой экономической системы. Для принятия решений при управлении используются отклонения *BSC*

от состояния баланса, а не изменения абсолютных значений показателей сбалансированной системы. В данной работе не приводятся зависимости для определения такого баланса, а в качестве решения предлагается графический инструмент - *Spase*-гистограмма нормированных показателей *BSC*.

Управляемость - свойство системы, характеризующее ее способность к переходу от текущего состояния к заданному состоянию, к сохранению показателей свойств или достижению цели, для которой она создана, при задании управляющих воздействий, ограничивающих множество возможных состояний системы.

К задачам управления относятся [14]:

- целеполагание - определение требуемого состояния или поведения системы;
- стабилизация - удержание системы в существующем состоянии в условиях возмущающих воздействий;
- выполнение программы - перевод системы в требуемое состояние в условиях, когда значения управляемых величин изменяются по известным детерминированным законам;
- слежение - удержание системы на заданной траектории (обеспечение тре-

буемого поведения) в условиях, когда законы изменения управляемых величин неизвестны или изменяются;

- оптимизация - удержание или перевод системы в состояние с экстремальными значениями характеристик при заданных условиях и ограничениях.

Определение различных показателей, в том числе и управляемости, при использовании моделей организации на основе теории автоматического управления (ТАУ) не представляет сложности, поэтому сразу рассмотрим эту возможность.

В работах [15; 16] утверждается, что инвестиционный процесс только теоретически можно рассматривать как процесс управления в системе с обратной связью, выполненной в соответствии с классической теорией автоматического управления. По мнению авторов этих работ, раскрыть математическую сущность и формализовать передаточные функции ее компонентов практически невозможно, а значит, такая идеализация данного процесса неприменима.

В работе [17] отмечено, что в управлении организационными системами используются три механизма (по частоте управления): управление ресурсами, управление целями, управление структурами. Первое ограничение возможности применения кибернетических моделей для анализа организационных систем управления автор связал с неразработанностью математических моделей, адекватно отображающих процесс управления структурами или ресурсами. Второе ограничение вызвано значительным временным лагом в организационных системах, а также тем, что качественные и количественные показатели их выходных величин могут быть полностью неопределенными. В самой работе [17] представлена и исследована модель сложной организационной системы - экстренной городской службы (скорая помощь, пожарная служба, служба газа). На основе этой модели можно либо спроектировать систему, удовлетворяющую требованиям пользователя, либо доказать невозможность достижения этих требований при заданных элементах и связях системы и ресурсных ограничениях.

С помощью разработанной модели контура управления [18] было исследовано влияние звеньев и принципов управления на результат данного процесса. К основным факторам, влияющим на эффективность процесса управления, автор отнес: продолжительность внешнего возмущающего воздействия; принцип регулирования; задержку в принятии решения. Для оценки эффективности процесса управления разработаны показатели [18] - интегральный показатель затрат на регулирование, интегральный показатель ошибки регулирования, коэффициент качества регулирования, коэффициент эффективности регулирования - и обоснована возможность их использования. С помощью модели в этой работе была исследована эффективность различных структур управления (зависимое подразделение, холдинг, независимая компания). Результаты работы были рекомендованы к использованию при синтезе систем управления организациями и при формировании структуры процессов в различных организациях.

В работе [19] на основе применения методов теории дифференциальных уравнений, преобразований Лапласа, а также построения алгоритмов анализа и принятия управленческих решений был разработан комплекс математических моделей, алгоритмов. Данный комплекс позволил использовать новые подходы к прогнозированию, анализу и контролю движения финансовых ресурсов во взаимосвязи с построением статических и динамических экономико-математических моделей.

В работе [20] была выполнена модельная интерпретация понятий и соответствующих свойств, принятых в организационном управлении и менеджменте, к ограниченному количеству терминов и понятий классической теории автоматического управления. Эта интерпретация позволила по результатам анализа математической модели системы организационного управления решить количественными методами следующие задачи:

1. Оценка условий устойчивости (работоспособности) системы организационного управления предприятия.

2. Оценка эффективности системы организационного управления (качества работы предприятия).

3. Определение способов повышения эффективности системы организационного управления.

В работе [21] на основе ТАУ были разработаны и применены динамические модели: системы поддержания плановых темпов; деятельности функционального подразделения; формирования плановых темпов для двух взаимодействующих функциональных подразделений.

В работах [22-25] были выявлены факторы, оказывающие влияние на динамику показателей качества продукции машиностроения, с учетом которых предложена математическая модель, раскрывающая временные зависимости изменения показателей качества продукции от изменения ее сложности, факторов сопротивления, потенциала организации, требований потребителей и других заинтересованных сторон. Выходные характеристики этой модели связывают уровень качества продукции и временные параметры при выбранных способах реализации подходов к планированию целей в области качества. Отметим, что предложенная в рассмотренных работах математическая модель является существенно нелинейной, однако она позволяет использовать показатели свойств, применяемых в ТАУ.

Анализ представленных выше работ показал, что существуют примеры эффективного применения ТАУ при исследовании организационных, организационно-экономических и организационно-технических систем, что позволяет использовать соответствующие показатели для характеристики свойств процессов СМК.

Для характеристики свойства управляемости процессов в терминах ТАУ используется критерий Калмана [26], применимый для линейных систем. Пусть имеется линейная стационарная система, представление которой в пространстве состояний имеет вид

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u},$$

где \mathbf{x} - вектор-столбец переменных состояния размерностью n ; \mathbf{u} - вектор-столбец

управлений размерностью m ; \mathbf{A} , \mathbf{B} - постоянные матрицы коэффициентов соответствующих размерностей.

Тогда для полной управляемости объекта необходимо и достаточно, чтобы выполнялось условие

$$\text{rank} [\mathbf{B} \ \mathbf{A}\mathbf{B} \ \mathbf{A}^2\mathbf{B} \ \dots \ \mathbf{A}^{n-1}\mathbf{B}] = n.$$

Со свойством управляемости тесно связано свойство наблюдаемости системы [26].

При исследовании нелинейных систем, динамика которых описывается нелинейными дифференциальными или разностными уравнениями, в ряде случаев (при малых изменениях переменных) можно перейти к анализу линеаризованной нелинейной системы без потери особенностей поведения. Если же особенности исследуемой системы не позволяют выполнить такое упрощение, то используют условия управляемости и наблюдаемости нелинейных систем [27].

Таким образом, при совместном применении процессного подхода и теории автоматического управления, в соответствии с заданной структурой S , каждому элементу системы ставится в соответствие обоснованно выбранная передаточная функция. После определения численных значений коэффициентов передаточных функций или их интервальных значений определяют значения показателей свойств самой системы.

Устойчивость - свойство системы возвращаться в состояние равновесия после того, как она была выведена из этого состояния под влиянием внешних (или внутренних - в системах с активными элементами) воздействий [1; 2]. В зависимости от величины отклонения различают устойчивость «в малом» и устойчивость «в большом». При оценке устойчивости играет значительную роль время возвращения в состояние равновесия. Так, при асимптотической устойчивости это время равно ∞ .

Пусть известна передаточная функция замкнутой системы относительно любого входного воздействия:

$$W(s) = R(s)/D(s).$$

Характеристический полином замкнутой системы управления равен

$$D(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \dots + a_{n-1} s + a_n.$$

На его основе определяют алгебраические и частотные критерии устойчивости системы [26]. Так, при использовании критерия Рауса заполняется специальная таблица, элементы которой определяются коэффициентами характеристического уравнения:

1) в первой строке записываются коэффициенты уравнения с четными индексами в порядке их возрастания;

2) во второй строке - аналогично ко-

эффициенты с нечетными индексами;

3) остальные элементы таблицы определяются по формуле

$$c_{k,i} = c_{k+1,i-2} - r_i c_{k+1,i-1},$$

где $r_i = c_{1,i-2}/c_{1,i-1}$; $i \geq 3$ - номер строки; k - номер столбца.

4) число строк таблицы на единицу больше порядка характеристического уравнения.

Вид таблицы при использовании критерия устойчивости Рауса:

r_i	$i \setminus k$	1	2	3	4
-	1	$c_{11} = a_0$	$c_{21} = a_2$	$c_{31} = a_4$...
-	2	$c_{12} = a_1$	$c_{22} = a_3$	$c_{32} = a_5$...
$r_3 = c_{11}/c_{12}$	3	$c_{13} = c_{21} - r_3 c_{22}$	$c_{23} = c_{31} - r_3 c_{32}$	$c_{33} = c_{41} - r_3 c_{42}$...
$r_4 = c_{12}/c_{13}$	4	$c_{14} = c_{22} - r_4 c_{23}$	$c_{24} = c_{32} - r_4 c_{33}$	$c_{34} = c_{42} - r_4 c_{43}$...
...

Система устойчива, если все элементы первого столбца данной таблицы имеют одинаковый знак.

Условия устойчивости нелинейных систем рассмотрены в работе [28].

В работе [29] рассматриваемое свойство разделено на структурную и функционально-параметрическую устойчивость. Структурная устойчивость предполагает сохранение структуры как совокупности некоторых взаимосвязей самостоятельных составных частей целого, определяющего указанную систему. Функционально-параметрическая устойчивость в этой работе рассматривается как устойчивость к малым возмущениям (устойчивость «в малом») и как устойчивость к большим, глубоким возмущающим воздействиям, которая формируется за счет управляемости и адаптивности.

Адаптация - свойство системы приспособляться к изменяющимся условиям окружающей среды, оказывающим на нее влияние.

В процессе приспособления могут изменяться количественные характеристики параметров системы, структура системы, поведение системы, а возможно, и управляющие воздействия на основе текущей информации с целью достижения или сохранения определенного состояния системы при начальной неопределенности внешних условий и изменяющихся условиях функционирования.

Существуют различные виды адаптации: появление новых элементов и/или связей между ними, настройка и самонастройка, обучение и самообучение, объединение систем в коллектив или распад системы и т.д.

При адаптации могут возникать состояния системы, характеризующиеся потерей устойчивости и управляемости, изменением целостности, эффективности и чувствительности [9]. В связи с этим при исследовании адаптации целесообразно использовать показатели, соответствующие изменениям этих свойств.

Эффективность - комплексное свойство, характеризующее соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами.

В работе [30] введены понятия целевой (функциональной) и ресурсной (экономической) составляющих эффективности целенаправленного процесса, при этом целевая эффективность характеризуется показателями результативности, а ресурсная эффективность - показателями ресурсоемкости и оперативности.

Если цель выражают как требуемое значение результата выполнения процесса $Y_{\text{тр}}$, то для количественного описания соответствия результата $Y(u)$ используют некоторую числовую функцию соответствия на множестве допустимых стратегий управления $\{U\}$, $u \in U$:

$$\rho = \rho(Y(u), Y_{\text{тр}}). \quad (6)$$

Конкретный вид этой функции зависит от цели операции, задачи исследования и других условий [31]. Если $Y(u)$ является случайной переменной, то функция соответствия будет случайной, как функция случайного аргумента, тогда в качестве показателя эффективности можно принять математическое ожидание этой функции.

Функции соответствия в детерминированном и вероятностном виде можно применять и для выражения показателей ресурсной эффективности.

Для характеристики свойства эффективности процессов в терминах ТАУ используется ряд показателей [32]. Для переходных состояний S по переходной функции $h(t)$ определяются следующие показатели ресурсной эффективности:

- установившееся значение переходной функции:

$$h_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t);$$

- время регулирования t_p (показатель быстродействия системы):

$$t_p = \min\{t | |h(t) - h_{\infty}| \leq \delta h_{\infty}\},$$

где δ - число (обычно $\delta = 0,05$);

- перерегулирование:

$$\sigma = \frac{h_{\text{max}} - h_{\infty}}{h_{\infty}} \cdot 100\%,$$

где h_{max} - максимальное значение переходной функции $h(t)$;

- число колебаний $h(t)$ за время переходного процесса:

$$N_k = \frac{t_p}{T_k},$$

где T_k - период колебаний; N_k - число полных колебаний $h(t)$ за время t_p .

Показателем целевой эффективности системы в установившемся режиме является ее ошибка:

$$\delta = \max |y_{\text{тр}}(t) - y(t)|$$

(является одной из форм функции соответствия (6)).

Показателями ресурсной эффективности будут являться различные функционалы, основные из которых представлены в работе [32].

Чувствительность - свойство системы изменять значения показателей других свойств при малом отклонении тех или иных параметров от своих номинальных (расчётных) значений [1; 2]. Для обозначения противоположного свойства пользуются терминами «грубость» или «робастность».

Для оценки чувствительности используют разложение функции $W(\xi)$, описывающей значение некоторого показателя определенного свойства системы, в степенной ряд в окрестности номинального значения параметра элемента ξ_0 [33]. Такое разложение без учета остаточного члена ряда, то есть в первом приближении, имеет вид

$$W(\xi) = W(\xi_0) + [\partial W(\xi) / \partial \xi]_{\xi=\xi_0} (\xi - \xi_0).$$

При малых изменениях величины параметра элемента $(\xi - \xi_0)$ изменение функции в линейном приближении равно

$$\Delta W = W(\xi) - W(\xi_0) = [\partial W(\xi) / \partial \xi]_{\xi=\xi_0} \Delta \xi,$$

где $[\partial W(\xi) / \partial \xi]_{\xi=\xi_0}$ - чувствительность;

$\Delta \xi = (\xi - \xi_0)$ - приращение величины параметра элемента.

В тех случаях, когда возможно изменение нескольких параметров, используют разложение функции в кратный ряд Тейлора.

Заключение

Таким образом, рассмотренные в работе общесистемные свойства и их показатели являются основными для исследования как отдельных процессов, так и сетей взаимосвязанных и взаимодействующих процессов. Они оказывают большое влияние на эффективность и управляемость систем менеджмента качества предприятий и дают возможность перейти к постановке задач оптимизации. Дальнейшее изучение характеристик показателей представленных свойств, а также выявление их взаимосвязей - перспективная задача, требующая систематизации накопленного

опыта в области эффективного менеджмента качества процессов и позволяющая по-новому представить принцип системного подхода к менеджменту, который, несмотря на исключение из новой редакции ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования», внедрен в принцип процессного подхода, поскольку именно менеджмент взаимосвязанных процессов как системы способствует результативности и эффективности организации в достижении намеченных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. - Введ. 2015-01-11. - М.: Стандартинформ, 2015. - 54 с.
2. Анисеева, О.В. Управление качеством продукции, процессов, услуг: учеб. пособие / О.В. Анисеева, О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко, М.Л. Сторублев. - Курск: ЮЗГУ, 2016. - 426 с.
3. Анцев, В.Ю. Управление качеством процесса рекламационной деятельности промышленного предприятия / В.Ю. Анцев, Е.Ю. Игнатенко, П.А. Сорокин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2012. - № 1. - С. 402-410.
4. Анцев, В.Ю. Поэтапное совершенствование производственного процесса на примере производства трубопроводов газотурбинных двигателей / В.Ю. Анцев, Н.А. Витчук // Известия Юго-Западного государственного университета. - 2016. - № 5 (68). - С. 15-21.
5. Анцев, В.Ю. Управление производственным процессом на основе построения структурно-функциональных моделей / В.Ю. Анцев, Н.А. Витчук // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2016. - № 8-2. - С. 139-146.
6. Ивахненко, Е.А. Совершенствование процесса разработки концепции изделий машиностроения / Е.А. Ивахненко, А.В. Олейник, Л.М. Червяков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2017. - № 8-1. - С. 313-323.
7. Ивахненко, А.Г. Моделирование систем качества: учеб. пособие / А.Г. Ивахненко, М.Л. Сторублев. - Курск: ЮЗГУ, 2011. - 174 с.
8. Системный анализ и принятие решений: словарь-справочник: учеб. пособие для вузов / под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. - М.: Высш. шк., 2004. - 616 с.
9. Ивахненко, А.Г. Системный анализ: учеб. пособие для студентов вузов / А.Г. Ивахненко. - Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2008. - 134 с.
10. Луценко, Е.В. Реализация операции объединения систем в системном обобщении теории множеств (объединение булеанов) / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - Краснодар: КубГАУ, 2011. - № 01(65). - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/01/pdf/29.pdf>.
11. Луценко, Е.В. Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли как количественная мера синергетического эффекта объединения булеанов в системном обобщении теории множеств / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - Краснодар: КубГАУ, 2011. - № 02(66). - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/02/pdf/45.pdf>.
12. Трусевич, Н.Э. Количественная оценка уровня системности организационных структур управления / Н.Э. Трусевич, Е.П. Бабурко, М.И. Кулак // Труды БГТУ. - Минск: БГТУ, 2016. - № 9 (191). - С. 72-76. - Режим доступа: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/20381>.
13. Ланкин, В.Е. Децентрализация управления социально-экономическими системами (системный аспект) / В.Е. Ланкин. - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. - 228 с.
14. Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; под ред. А.А. Емельянова. - М.: Финансы и статистика, 2009. - 368 с.
15. Булыгина, О.В. Системный анализ в управлении рискованными проектами с применением специальных шкал (на примере процессов инвестирования) / О.В. Булыгина, А.А. Емельянов, Н.З. Емельянова // Прикладная информатика. - 2016. - № 5 (65). - С. 31-61.

16. Емельянов, А.А. Имитационное моделирование инвестиционных процессов / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, М.Э. Емельянова, Н.Н. Прокимов // Прикладная информатика. - 2012. - № 2 (38). - С. 93-99.
 17. Бескровный, И.М. Системный анализ и информационные технологии в организациях: учеб. пособие / И.М. Бескровный. - М.: РУДН, 2012. - 392 с.
 18. Лапушкин, И.И. Разработка механизма управления структурой процессов в проектной организации: дис. ... канд. экон. наук / И.И. Лапушкин. - М., 2014. - 152 с.
 19. Кочетова, А.Н. Методы и алгоритмы прогнозирования оценок эффективности организационных систем (на примере промышленного производства лесхозов): дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Кочетова. - Воронеж, 2004. - 187 с.
 20. Ганэ, В.А. Модели систем организационного управления: монография / В.А. Ганэ, Е.М. Герасимова, Е.Л. Герасимов; под науч. ред. В.В. Козловского. - Минск: Право и экономика, 2015. - 308 с.
 21. Пономарёв, В.М. Методы и средства повышения безопасности и устойчивости функционирования железнодорожного транспорта в чрезвычайных ситуациях: дис. ... д-ра техн. наук / В.М. Пономарёв. - М., 2011. - 416 с.
 22. Пузанов, В.Е. Исследование свойств математических моделей динамики качества машиностроительной продукции / В.Е. Пузанов, А.Г. Ивахненко // Известия Юго-Западного государственного университета. Техника и технологии. - 2012. - № 2. - Ч. 1. - С. 128-131.
 23. Ивахненко, А.Г. Основные положения динамики качества продукции / А.Г. Ивахненко, В.Е. Пузанов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2012. - № 2-5. - С. 119-125.
 24. Пузанов, В.Е. Обзор существующих подходов к исследованию динамики качества продукции / В.Е. Пузанов, А.Г. Ивахненко, И.В. Зотов, К.В. Подмастерьев // Известия Юго-Западного государственного университета. - 2014. - № 1. - С. 49-58.
 25. Ивахненко, А.Г. Обоснование плановых значений целевых показателей предприятия в области качества на основе моделирования динамики качества машиностроительной продукции / А.Г. Ивахненко, В.Е. Пузанов // Справочник. Инженерный журнал с приложением. - 2014. - № 4 (205). - С. 47-56.
 26. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 1. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ, 2004. - 655 с.
 27. Жирабок, А.Н. Анализ наблюдаемости и управляемости нелинейных динамических систем линейными методами / А.Н. Жирабок // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2010. - № 1. - С. 10-17.
 28. Львова, Л.Л. Условия управляемости нелинейных систем с параметром / Л.Л. Львова // Вестник ТГУ. - 2000. - Т. 5. - Вып. 4. - С. 475-476.
 29. Карпович, А.И. Определение категории устойчивости в сложных социотехнических системах / А.И. Карпович, А.В. Никифорова, А.Н. Полетаikin // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. - 2017. - № 1. - С. 147-163.
 30. Петухов, Г.Б. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем / Г.Б. Петухов, В.И. Якунин. - М.: АСТ, 2006. - 504 с.
 31. Степаненко, Е.А. Теория системного анализа и принятия решений: учеб. пособие / Е.А. Степаненко. - Краснодар: КубГУ, 2008. - 71 с.
 32. Белоглазов, Д.А. Критерии функционирования систем автоматического управления / Д.А. Белоглазов, С.Е. Бублей // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2010. - № 7 (108). - С. 185-191.
 33. Глаголев, М.В. Анализ чувствительности модели / М.В. Глаголев // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. - 2012. - Т. 3. - № 3. - С. 31-53.
1. RSS R ISO 9000-2015. *Systems of Quality Management. Basic Regulations and Vocabulary*. - Introd. 2015-01-11. - М.: Standardinform, 2015. - pp. 54.
 2. Anikeeva, O.V. *Control of Product Quality, Processes and Services: manual* / O.V. Anikeeva, O.Yu. Erenkov, A.G. Ivakhnenko, M.L. Storublyov. - Kursk: SWSU, 2016. - pp. 426.
 3. Antsev, V.Yu. Control of enterprise reclamation activity quality / V.Yu. Antsev, E.Yu. Ignatenko, P.A. Sorokin // *Transactions of Tula State University. Engineering Sciences*. - 2012. - No.1. - pp. 402-410.
 4. Antsev, V.Yu. Step-by-step improvement of industrial process by example of piping manufacturing for gas turbine engines / V.Yu. Antsev, N.A. Vit-chuk // *Transactions of South-Western State University*. - 2016. - No.5 (68). - pp. 15-21.
 5. Antsev, V.Yu. Industrial process control based on formation of structural-functional models / V.Yu. Antsev, N.A. Vit-chuk // *Transactions of Tula State technical University. Engineering Sciences*. 2016. - No.8-2. - pp. 139-146.
 6. Ivakhnenko, E.A. Development perfection of engineering product concept / E.A. Ivakhnenko, A.V. Oleinik, L.M. Chervyakov // *Transactions of Tula State University. Engineering Sciences*. - 2017. - No. 8-1. -pp. 313-323.

7. Ivakhnenko, A.G. *Quality System Modeling: college manual* / A.G. Ivakhnenko, M.L. Storublev. – Kursk: SWSU, 2011. – pp. 174.
8. *System Analysis and Decision-Making: dictionary-reference book: college manual* / under the editorship of V.N. Volkova, V.N. Kozlov. – M.: Higher School, 2004. – pp. 616.
9. Ivakhnenko, A.G. *System Analysis: manual for college students* / A.G. Ivakhnenko. – Kursk: Kursk State Technical University, 2008. – pp. 134.
10. Lutsenko, E.V. Realization of systems integration operation in system generalization of set theory / E.V. Lutsenko // *Multi-Subject Network Electronic Scientific Journal of Kuban State Agricultural University*. – Krasnodar: KubanSAU, 2011. – No.01 (65). – Access Mode: <http://ej.kubagro.ru/2011/01/pdf/29.pdf>.
11. Lutsenko, E.V. Hartly's generalized factor of emergence as quantitative measure of synergetic effect of Boolean integration in system generalization of set theory / E.V. Lutsenko // *Multi-Subject Network Electronic Scientific Journal of Kuban State Agricultural University*. – Krasnodar: KubanSAU, 2011. – No.02 (66). – Access Mode: <http://ej.kubagro.ru/2011/02/pdf/45.pdf>.
12. Trusevich, N.E. Quantitative assessment of system level in organization structures of control / N.E. Trusevich, E.P. Baburko, M.I. Kulak // *BSTU Proceedings*. – Minsk: BSTU, 2016. – No.9 (191). – pp. 72-76. Access Mode: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/20381>.
13. Lankin, V.E. *Decentralization of Social-Economic Systems Control (system aspect)* / V.E. Lankin. – Taganrog: Publishing House of TRTU, 2005. – pp. 228.
14. Anfilatov, V.S. System analysis in management / V.S. Anfilatov, A.A. Emeliyanov, A.A. Kukushkin; under the editorship of A.A. Emeliyanov. – M.: *Finances and Statistics*, 2009. – pp. 368.
15. Bulygina, O.V. System analysis in risky project management using special scales (by example of investment processes) / O.V. Bulygina, A.A. Emeliyanov, N.Z. Emeliyanova // *Applied Informatics*. – 2016. – No.5 (65). – pp. 31-61.
16. Emeliyanov, A.A. Imitation modeling of investment processes // A.A. Emeliyanov, E.A. Vlasova, M.E. Emeliyanova, N.N. Prokimnov // *Applied Informatics*. – 2012. – No.2 (38). – pp. 93-99.
17. Beskrovny, I.M. *System Analysis and Information Technologies in Companies: manual* / I.M. Beskrovny. – M.: RUPF, 2012. – pp. 392.
18. Lapushkin, I.I. Development of mechanism for structural processes control in design company: *Thesis for Can. Sc. Econ. Degree* / I.I. Lapushkin. – M.: 2014. – pp. 152.
19. Kochetova, A.N. Methods and algorithms for effectiveness prediction of organization systems (by example of manufacturing processes of timber enterprises): *Thesis for Can. Sc. Tech. Degree* / A.N. Kochetova. – Voronezh, 2004. – pp. 187.
20. Gane, V.A. Models of organization control systems: monograph / V.A. Gane, E.M. Gerasimova, E.L. Gerasimov; under the scientific editorship of V.V. Kozlovsky. – Minsk: *Law and Economics*, 2015. – pp. 308.
21. Ponomaryov, V.M. Methods and means for safety increase and stability of railway transport in emergency situations: *Thesis for Dr. Sc. Tech. Degree* / V.M. Ponomaryov. – M., 2011. – pp. 416.

Статья поступила в редакцию 14.09.18.

Рецензент: д.т.н., профессор Юго-Западного государственного университета
Клепиков С.И.

Статья принята к публикации 12.11.18.

Сведения об авторах:

Синдеева Римма Николаевна, аспирант кафедры СМУКТД Юго-Западного государственного университета, (305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94), e-mail: sinrimma@yandex.ru.

Зотов Игорь Валерьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры ИСиТ Юго-Западного государственного университета, (305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94), e-mail: kafedra.ist2015@yandex.ru.

Червяков Леонид Михайлович, д-р техн. наук, профессор кафедры СМУКТД Юго-Западного го-

Sindeeva Rimma Nikolaevna, Post graduate student of the Dep. SMUKTD of South-Western State University, e-mail: sinrimma@yandex.ru.

Zotov Igor Valerievich, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. IS&T of South-Western University, e-mail: kafedra.ist2015@yandex.ru.

сударственного университета, (305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94), e-mail: chlm@mail.ru.

Жиляев Алан Арсенович, ст. преподаватель кафедры управления качеством Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, (360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173), e-mail: politech@kbsu.ru.

Chervyakov Leonid Mikhailovich, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. SMUKTD of South-Western State University, e-mail: chlm@mail.ru.

Zhilyaev Alan Arsenovich, Senior lecturer of the Dep. of Quality Control, Berbekov State University of Kabardino-Balkaria, e-mail: politech@kbsu.ru.

13

13

5