
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 519.86

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Т. В. Азарнова, А. Н. Леонтьев

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 04.09.2015 г.

Аннотация. Статья посвящена описанию имитационной модели, предназначенной для исследования динамики изменения интегральной оценки качества функционирования организационной системы под действием различных стратегий изменения качества её элементов. Имитационная модель строится на базе когнитивной модели исследования качества, которая отражает функциональные связи элементов системы и когнитивные принципы оценки качества элементов системы и связей между ними.

Ключевые слова: качество, когнитивная модель, имитационная модель, стратегии изменения качества, интегральная оценка качества.

Annotation. Article is devoted to the description of the imitating model intended for research of dynamics of change of an integrated assessment of quality of functioning of organizational system under the influence of various strategy of change of quality of its elements. The imitating model is under construction on the basis of cognitive model of research of quality which reflects functional communications of elements of system and the cognitive principles of an assessment of quality of elements of system and communications between them.

Keywords: quality, cognitive model, imitating model, quality change strategy, integrated assessment of quality.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках данной работы качество функционирования организационной системы оценивается с позиции достижения целей системы. Такой подход к оценке соответствует следующему определению качества: качество – это степень, с которой совокупность выходных (результатирующих) характеристик системы выполняет установленные (предполагаемые, обязательные) требования целевых потребителей (заинтересованных сторон). Результатирующие характеристики системы непосредственно или опосредованно зависят степеней достижения цели каждого струк-

турного элемента системы. Приведенные рассуждения позволяют рассматривать качество, как некоторую функцию совокупности оценок степеней достижения целей структурных элементов исследуемой системы, значения которой лежат в интервале $[0,1]$. При построении функции качества необходимо исследовать и формализовать зависимости между характеристиками P_j и оценками их качества K_j и механизмы получения оценки качества элемента системы (системы в целом) как интегральной характеристики (свертки) совокупности оценок качества его (ее) составляющих.

В исследовании используется процессный подход к оценке качества функционирования системы, который реализуется на базе по-

строения функциональной модели системы [1]. Качество процессов определяется их ресурсной обеспеченностью, характеристиками управления и механизмов реализации. Процессы системы взаимосвязаны через управление, ресурсы, механизмы, и, при взаимодействии качество одних процессов оказывает непосредственное или опосредованное влияние на качество других процессов. Функциональные модели отражают описанные аспекты функционирования процессов и связей

между процессами. Для исследования качества по функциональной модели, формулируются когнитивные подходы к оценке качества процессов через качество их элементов и к оценке влияния на качество связей между процессами. Таким образом, на базе функциональной модели строится когнитивная модель качества функционирования исследуемой системы. Когнитивная модель, специальный математический инструментарий и методы теории графов позволяют имитиро-

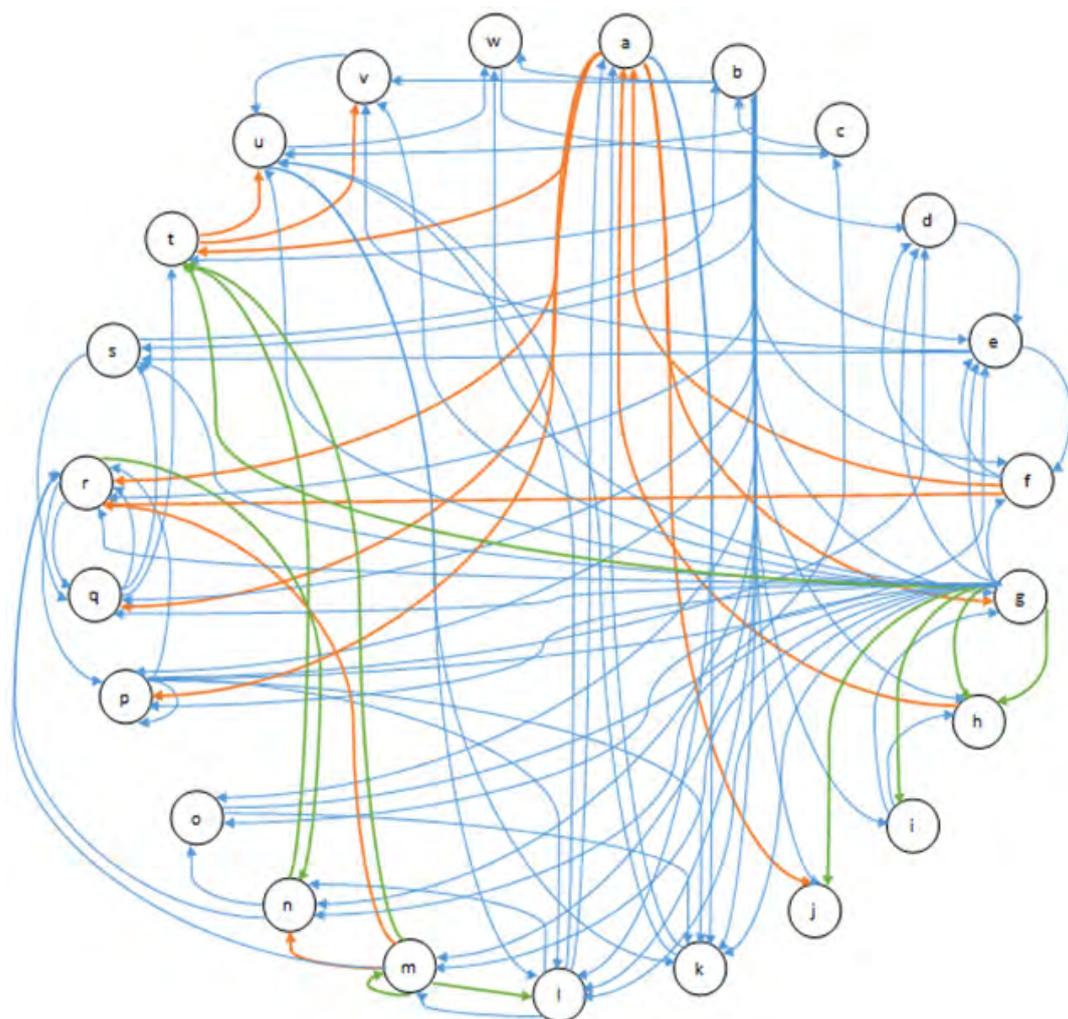


Рис. 1. Граф когнитивной модели:

- а) Подписывать документы, утверждать запросы; б) Контролировать внутренние процессы;
- с) Анализировать показатели; д) Искать клиентов; е) Принимать заказы; ф) Подготавливать документы для осуществления заказов; г) Нанимать сотрудников; h) Оформлять документы сотрудников; i) Контролировать работу сотрудников; j) Увольнять сотрудников; k) Закупать запчасти, топливо, расходные материалы; l) Обновлять автопарк; т) Оформлять документы на транспорт; n) Ремонтировать транспорт; о) Анализировать качество запчастей и транспорта;
- р) Прорабатывать маршруты; q) Контролировать ход выполнения заказов; r) Перевозить грузы;
- s) Взаимодействовать с клиентами в ходе выполнения заказов; t) Оформлять документы;
- u) Осуществлять платежи; v) Контролировать платежи клиентов;
- w) Анализировать финансовые данные

вать распространение импульсов изменения качества по системе при реализации различных стратегий управления качеством.

На рис. 1 приведен пример графа когнитивной модели малого предприятия, занимающегося автоперевозками грузов, построенного по третьему уровню декомпозиции функциональной модели.

Переменными когнитивной модели являются функциональные блоки – процессы, дуги показывают связи между блоками. Оценка качества переменной когнитивной модели, является интегральной оценкой качества его элементов: ресурсов, управления и механизмов. Если элемент некоторого процесса является связью с другим процессом, то качество данного элемента вычисляется через качество исходящего процесса (принимается равным качеству исходящего процесса, вычисляется как некоторая функция от качества исходящего процесса). Для оценки качества элементов используются различные квалиметрические механизмы, методы нечеткой логики, подходы на основе трудности достижения цели. Для перехода к единой шкале измерения качества используется подход, базирующийся на вычислении трудностей достижения целей [4, 5, 6]. В основе понятия трудности лежит предположение о том, что получить результат определенного качества тем сложнее (вызывает трудность), чем ниже качество составляющих и чем выше требования к результату. Трудность определяется как мера несоответствия ресурсов системы и требований к их качеству, и является специфической обобщенной оценкой качества. Руссман И. Б. [8] предложил следующую формулу для вычисления качества отдельных элементов процесса

$$d = \frac{\varepsilon(1 - \mu)}{\mu(1 - \varepsilon)},$$

где μ – оценка качества элемента ($0 < \mu \leq 1$), ε – требования к качеству ($0 \leq \varepsilon < 1$, $\varepsilon \leq \mu$).

В теории трудностей достижения целей специальным образом введены согласованные операции обобщенного сложения, обобщенного умножения, обобщенного возведения в степень:

$$d_1 \oplus d_2 = d_1 + d_2 - d_1 d_2 = 1 - (1 - d_1)(1 - d_2),$$

$$\lambda \otimes d = 1 - (1 - d)^\lambda,$$

$$d^\lambda = 1 - e^{-\left[\frac{\ln 1}{1-d}\right]^\lambda}.$$

В целях исследования величина λ в операциях умножения и возведения в степень рассматривается как управляемый параметр. С помощью данного параметра можно управлять приоритетами и формами включения качества различных элементов при формировании интегральных оценок. Для операции умножения, если величина $\lambda > 1$, то чем больше значение λ , тем быстрее значение $\lambda \otimes d$ асимптотически приближается к 1. Аналогично, если $\lambda < 1$, то чем меньше значение λ , тем быстрее значение $\lambda \otimes d$ асимптотически приближается к 0. Большие значения λ (высокая значимость) усиливают трудность достижения цели, малые значения λ (низкая значимость) снижают трудность достижения цели.

Проинтерпретируем также роль параметра λ в операции обобщенного возведения в степень. Чем больше значение $\lambda > 1$, тем ближе к 0 значение d^λ при $0 \leq d \leq 1 - e$ и ближе к 1 значения d^λ при $1 - e \leq d \leq 1$. При $\lambda < 1$, чем меньше λ тем выше d^λ для значений $0 \leq d \leq 1 - e$ и ниже значение d^λ для $1 - e \leq d \leq 1$.

С помощью введенных операций стоятся интегральные оценки качества переменных когнитивной модели и исследуемой системы в целом. Интегральная оценка качества переменных когнитивной модели (отдельных процессов) вычисляется по формуле:

$$K = 1 - d, \quad d = 1 - \prod_{p=1}^n (1 - d_p)^{\beta_p},$$

где d – трудность достижения целей процесса, d_p – трудность достижения целей по p -й компоненте, β_p – коэффициенты важности компоненты.

Интегральная оценка качества функционирования системы в целом вычисляется через так называемые качественные функции. Рассматривается несколько типов качественных функций [3, 6]:

$$\begin{aligned}
 D &= \max_{1 \leq k \leq n} \left(\frac{1}{\lambda_1} \otimes d_1, \dots, \frac{1}{\lambda_n} \otimes d_n \right) = \\
 &= \max_{1 \leq k \leq n} \left(1 - (1 - d_1)^{\frac{1}{\lambda_1}}, \dots, 1 - (1 - d_n)^{\frac{1}{\lambda_n}} \right), \\
 D &= \lambda_1 \otimes d_1 \oplus \dots \oplus \lambda_n \otimes d_n \oplus d_0 = \\
 &= 1 - \prod_{k=1}^n (1 - d_k)^{\lambda_k} (1 - d_0), \\
 D &= d_0 \otimes d_1^{\hat{\lambda}_1} \otimes \dots \otimes d_n^{\hat{\lambda}_n}, \\
 D &= \left[\lambda_1 \otimes d_1^{-\hat{\alpha}} \oplus \dots \oplus \lambda_n \otimes d_n^{-\hat{\alpha}} \right]^{\frac{1}{\hat{\alpha}}}.
 \end{aligned}$$

Выбор конкретного типа качественной функции осуществляется экспертом, исходя из сформированного им подхода к учету важности и величины трудностей отдельных процессов. Параметры качественных функций могут назначаться экспертом или определяться по методу наименьших квадратов на основе имеющейся статистической базы [3]. Остановимся кратко на некоторых аспектах применения метода наименьших квадратов. Роль зависимой переменной играет величина D , роль независимых переменных играют переменные d_1, \dots, d_n . При формировании статистической базы величина D оценивается экспертами или целевыми потребителями как трудность достижения целей системы в целом. Для некоторых типов качественных функций возможен переход к линейным функциям. Процессы функционирования системы связаны по качеству, качество одних процессов оказывает непосредственное или опосредованное влияние на качество других процессов, поэтому в методе наименьших квадратов может наблюдаться явление мультиколлинеарности.

Качественная функция позволяет определить качество функционирования системы для определенного момента времени. В начальный момент времени происходит инициализация – элементам процессов когнитивной модели приписываются некоторые значения качества. Эти значения начинают восприниматься системой, процесс восприятия аналогичен процессу распространения изменений, который будет описан ниже. По окончании процесса восприятия система

приходит в стабильное состояние, когда качество системы находится на некотором уровне D (установившееся значение).

Предположим, что рассматриваемая система функционирует в установившемся режиме [7]. Изменение качества элементов процесса в некоторый момент времени приведет к изменению качества данного процесса в этот же момент времени или с запаздыванием. Через некоторое время изменение качества рассматриваемого процесса окажет влияние на качество других процессов через существующие связи между процессами. Изменение качества рассматриваемого процесса через один такт времени (используемая единица времени) отразится на качестве смежных с ним процессов, смежный процесс может полностью воспринять изменение или частично, модель передачи изменений между процессами может строиться, например, на языке нечетких множеств.

Для имитации динамики изменений интегральной оценки качества системы фиксируется определенная стратегия изменения качества переменных когнитивной модели (процессов), заключающаяся в изменении качества их элементов: ресурсов, управления или механизмов. Стратегия реализуется в определенный выбранный исследователем момент времени, в следующие моменты времени внешние изменения не осуществляются (простой импульсный процесс). Переменные, на которые распространяется стратегия, называются базовыми для данной стратегии. Для каждого базового процесса строится древовидный граф согласно когнитивной модели, который описывает потактовый процесс распространения влияния изменений от базовых переменных к другим переменным модели. Для построения древовидных графов применяются алгоритмы поиска в ширину и глубину для графа когнитивной модели. На каждом такте ведется пересчет интегральной оценки качества системы с учетом совокупности изменений качества переменных модели.

При изменении качества базовых переменных система вступает в переходный процесс функционирования. Интегральная оценка качества функционирования рассматривается

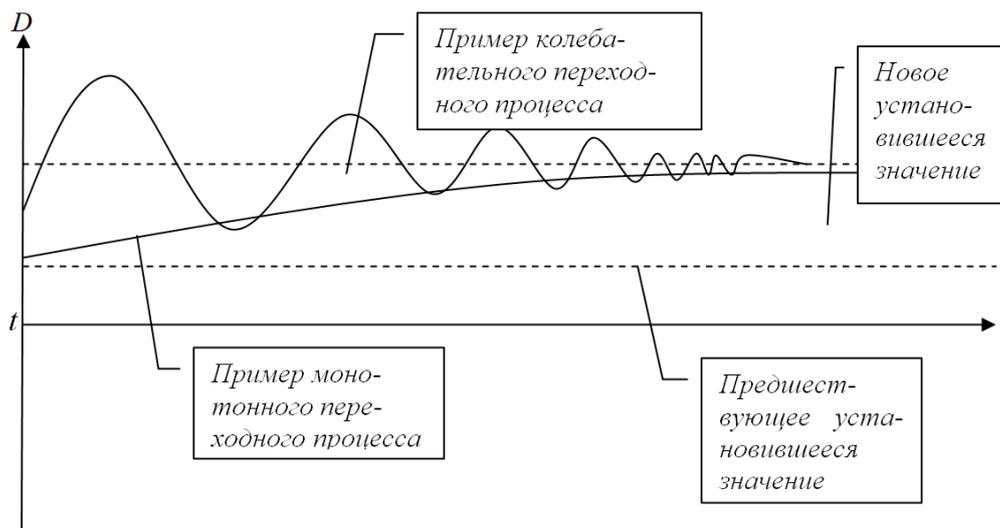


Рис. 2. Переходный процесс при реализации стратегии изменения качества

как функция от времени $D(t)$. С течением времени система должна придти к новому установившемуся положению (горизонтальная асимптота). Приближение функции $D(t)$ к асимптотическому поведению может носить монотонный (возрастающий или убывающий) или колебательный характер. Характер приближения зависит от выбора базовых процессов и элементов базовых процессов, на которые распространяется анализируемая стратегия. Возможно, что при реализации стратегии качество одних элементов будет увеличиваться, а качество других элементов снижаться.

Основными показателями переходного процесса являются: частота и амплитуда переходного процесса, время достижения первого максимума, максимальное отклонение функции $D(t)$ от предыдущего установившегося значения, время нарастания переходного процесса, время перехода процесса к новому установившемуся значению, величина нового установившегося значения, разница между предыдущим и новым установившимися значениями.

Время переходного процесса t_p – минимальное время, по истечении которого функция $D(t)$ будет оставаться близкой к установившемуся значению с требуемой точностью σ

$$|D(t) - D_{уст}| \leq \sigma.$$

Время нарастания переходного процесса t_n – абсцисса первой точки пересечения кри-

вой $D(t)$ с уровнем нового установившегося значения.

Для монотонных процессов основным показателем является время регулирования.

Задача выбора оптимальной стратегии изменения качества базовых процессов носит, как правило, многокритериальный характер [3]. Критерии оптимальности могут быть связаны с величиной нового установившегося значения качества, с временем переходного процесса и т. д. Интерес вызывает также отслеживание периода наступления первого максимума или глобального максимума колебательного процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имитационное моделирование с помощью разработанного программного обеспечения позволяет имитировать динамику изменения интегральной оценки качества функционирования организационной системы под действием импульсов изменения качества элементов системы и находить оптимальные стратегии изменения качества, соответствующие различным критериям оптимальности.

Предложенный аппарат носит экспертный характер. Его результативность зависит от адекватности выбранного когнитивного подхода к оценке качества и экспертных оценок при инициализации модели.

Аппарат моделирования апробирован при исследовании качества функционирова-

ния малого предприятия, основным видом деятельности которого является осуществление грузоперевозок автомобильным транспортным. По результатам исследования было найдено несколько рациональных стратегий изменения качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азарнова Т. В. Механизмы исследования качества регулирования процессов на рынке труда средствами функционального моделирования / Т. В. Азарнова, Я. Е. Львович // Вестник ИНЖЕКОНА. Серия: Экономика, 2010. – № 1. – С. 172–178.

2. Азарнова Т. В. Алгоритм анализа динамики изменения качества функционирования рынка труда при реализации различных стратегий управления качеством / Т. В. Азарнова, Т. В. Попова, И. Н. Леонтьев // Вестник Воронеж гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2013. – № 2. – С. 79–86.

3. Азарнова Т. В. Методы оптимизации. Элементы теории, алгоритмы и примеры / Т. В. Азарнова, И. Л. Каширина, Г. Д. Чернышова. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2004.

4. Бермант М. А. О проблеме оценки качества / М. А. Бермант, И. А. Руссман // Экономика и математические методы. – 1978. – №4(14). – С. 691–699.

5. Баева Н. Б. Обобщение методов построения интегральных оценок качества на основе теории трудности достижения цели / Н. Б. Баева, Е. В. Куркин // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2011. – № 1. – С. 84–92.

6. Баева Н. Б. Алгебра трудности достижения цели как операционная основа оценки качества результата / Н. Б. Баева, Е. В. Куркин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2011. – № 6 (137). – С. 210–213.

7. Леденева Т. М. Моделирование процесса агрегирования информации в целенаправленных системах / Т. М. Леденева. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. техн. ун-та, 1999. – 155 с.

8. Руссман И. Б. О проблеме оценки качества / И. Б. Руссман, М. А. Бермант // Экономика и математические методы, Т. XIV, вып. 4. – 1978.

Азарнова Татьяна Васильевна – д.т.н., профессор кафедры Математических методов исследования операций факультета Прикладной математики, информатики и механики Воронежского государственного университета. E-mail: ivdas92@mail.ru

Azarnova Tatyana Vasilyevna – Ph.D., professor of chair of Mathematical methods of research of operations of faculty of Applied mathematics, informatics and mechanics of Voronezh State University. E-mail: iv-das92@mail.ru

Леонтьев Александр Николаевич – аспирант кафедры Математических методов исследования операций факультета Прикладной математики, информатики и механики Воронежского государственного университета. E-mail: aleontiev90@mail.ru

Leontyev Alexander Nikolaevich – graduate student of chair of Mathematical methods of research of operations of faculty of Applied mathematics, informatics and mechanics of Voronezh State University. E-mail: aleontiev90@mail.ru