

## Марковская модель представления чувственных образов для формирования модели внешнего мира\*

**Целью исследования** является вероятностное описание функционирования когнитивной системы с учетом ее внутренней логики и взаимодействия с внешней средой.

Такие понятия когнитивной теории, как чувственные образные представления, модели, системы являются наиболее общими, поэтому попытка их формализации является путем получения наиболее общих результатов. Одним из ключевых понятий когнитивной теории является гештальт, который понимается в настоящей работе как некое целостное восприятие чувственного образа, а также и сам чувственный образ. Формализация (математическое описание) гештальтов, как и других понятий когнитивной теории встречает естественные затруднения, связанные с неопределенностью самих этих понятий.

С другой стороны, существуют хорошо разработанные математические модели поведения достаточно конкретизированных организационных систем, позволяющие получать содержательные результаты.

В связи с этим математическое описание достаточно широкого класса когнитивных систем, не ограниченное конкретным содержанием их функционирования, является актуальной задачей. В настоящем исследовании предполагается, что чувственные образы возникают в случайные моменты времени и воздействуют на когнитивную систему с определенными вероятностями. В связи с этим одними из адекватных математических инструментов являются, по-видимому, теоретико-вероятностные методы, в частности, применение теории марковских процессов.

**Методом исследования** в рамках принятой модели является применение теории марковских процессов, развивающихся в фиксированные моменты времени, т.е. марковских цепей. Считается, что функционирование когнитивной системы описывается абстрактными вероятностями изменений состояний

системы. Такой подход позволяет формализовать процессы представления чувственных образов в когнитивной системе, с учетом как внутренней логики функционирования системы, так и взаимодействия системы с внешним миром. Основное внимание в исследовании уделено изучению влияния на поведение системы внешних по отношению к ней чувственных образов.

**В результате** предпринятого исследования показано, что учет внешних взаимодействий системы достигается введением в рассмотрение стохастической матрицы вероятностей реакций системы на внешние воздействия. С учетом хорошо разработанной теории марковских цепей получены аналитические выражения для вероятностей пребывания системы в каждом из возможных состояний. Исследовано влияние на поведение системы элементов матрицы вероятностей реакций системы, представлены соответствующие графики. Изучено асимптотическое поведение системы при неограниченном увеличении числа шагов, изменяющих состояние системы, а также средние характеристики функционирования системы.

Отмечается, что представленное описание является формальным, оперирует только с вероятностными характеристиками системы и не учитывает конкретные сигналы, которые могут поступать в систему от ее датчиков, сенсоров и вообще чувствительных элементов. В связи с этим дальнейшее развитие модели может быть связано с оценкой вероятностей реакции системы на внешние воздействия с учетом характеристик упомянутых конкретных сигналов, а также разработкой оптимальных алгоритмов принятия решений о наличии или отсутствии воздействий на систему со стороны окружающего мира

**Ключевые слова:** когнитивная система, чувственный образ, стохастическая матрица, марковская цепь

Aleksander A. Solodov

Russian state University n.a. Kosygin (Technology, design, art). Moscow, Russia

## Markov model of representation of sensual images for the formation of the model of the outside world

**The aim of the study** is a probabilistic description of the functioning of the cognitive system, taking into account its internal logic and interaction with the external environment.

Such concepts of cognitive theory as sensory imaginative representations, models, systems are the most common, so the attempt to formalize them is by obtaining the most common results. One of the key concepts of cognitive theory is Gestalt, which is understood in this work as a kind of holistic perception of the sensual image, as well as the sensual image. Formalization (mathematical description) of Gestalt, as well as other concepts of cognitive theory meets the natural difficulties associated with the uncertainty of these concepts. On the other hand, there are well-developed mathematical models of behavior of quite specific organizational systems, allowing obtaining meaningful results.

In this regard, the mathematical description of a wide class of cognitive systems, not limited to the specific content of their functioning, is an urgent task. In this study, it is assumed that sensory images occur at random times and affect the cognitive system with certain probabilities. In this regard, one of the adequate mathematical tools are, apparently, probability-theoretic methods, in particular, the application of the theory of Markov processes.

**The method** of research within the framework of the adopted model is the application of the theory of Markov processes developing at fixed points in time, i.e. Markov chains. It is believed that the functioning of the cognitive system is described by abstract probabilities of changes in the system states. This approach allows formalizing the processes of representation of sensory images in the cognitive system, taking into account both the internal logic of the system and the interaction

\*Статья написана при поддержке РФФИ, проект 18-07-00918

of the system with the outside world. The main attention is paid to the study of the influence on the behavior of the system external to her sensual images.

*As a result* of the study shows that the inclusion of the interactions of the system is achieved by introducing the stochastic matrix of probabilities of the system response to external influences. Taking into account the well-developed theory of Markov chains, analytical expressions for the probabilities of the system in each of the possible states are obtained. The influence on the behavior of the system of elements of the matrix of probability reactions of the system is investigated, the corresponding graphs are presented. The asymptotic behavior of the system is studied with an unlimited increase in the number of steps that change the state of the system, as well as the average characteristics of the system.

It is noted that the presented description is formal, operates only with probabilistic characteristics of the system and does not take into account specific signals that can enter the system from its sensors, and generally sensitive elements. In this regard, the further development of the model may be associated with the assessment of the probability of the system response to external influences, taking into account the characteristics of these specific signals, as well as the development of optimal algorithms for decision-making about the presence or absence of impacts on the system from the outside world

**Keywords:** cognitive system, sensual image, stochastic matrix, Markov chain

## Введение

На современном этапе изучения организационно-технических систем одной из основных тенденций является привлечение для их описания базовых понятий когнитивных наук. Поскольку такие понятия когнитивной теории, как чувственные образные представления, модели, системы являются наиболее общими, то и их практическое применение приведет к наиболее общим результатам. В связи с этим отметим, что такое основополагающее определение когнитивной теории как гештальт окончательно не сформулировано. В работах [1, 2] отмечается, что гештальт отличает целостность образных представлений, а в [3] Лакофф не определяя понятия гештальта, рассматривает его существенные свойства. Качественное сравнение работы когнитивных и компьютерных систем изучалось в [4].

Не вдаваясь в терминологические нюансы, которые обсуждаются, например, в [5, 6], далее будем полагать, что гештальтом является некое целостное восприятие чувственного образа, которое позволяет когнитивной системе формировать представление о внешнем мире. Далее для простоты будем называть чувственным образом не только процедуру восприятия, но и сами внешние воздействия.

Формализация, в том числе математическое описание процесса формирования гештальтов, наталкивается на трудности, связанные с общностью и неопределенностью самого понятия. Кузнецов О.П. [1], отмечает, что формализация основных понятий когнитивной теории составляет перспективные направления дальнейших исследований в этой области. Формированию концептуальных подходов к этой проблеме посвящен ряд работ [7, 8, 9, 10].

Противоположным примером достаточно хорошо развитой математической теории когнитивных систем является изучение организационных систем и методов управления такими системами. В частности, в работе [11] представлено систематическое описание методов управления в организационных системах, основанное на математических моделях. Такое описание

стало возможным благодаря весьма конкретным моделям, описывающим поведение организационных систем. В большинстве случаев такое описание использует методы исследования операций [12], теорию игр [13, 14, 15], теорию графов [16, 17].

Таким образом, существует определенный разрыв в формальном, математическом описании фундаментальных основ когнитивной теории и практических прикладных задач. В работах [18, 19, 20] предпринято функциональное описание когнитивных систем, которое, однако, не позволяет получить аналитические соотношения, ее характеризующие.

Таким образом, разработка достаточно общих моделей когнитивных систем является в настоящее время актуальной.

В преодолении упомянутого разрыва существенным является выбор математического инструментария для описания когнитивных процессов. Поскольку сами когнитивные процессы и их элементы являются весьма общими и абстрактными, то и математический аппарат, пригодный для их описания должен оперировать с абстрактными понятиями. Представляется вполне очевидным, что чувственные образы возникают в случайные моменты времени и воздействуют на когнитивную систему с определенными вероятностями. В связи с этим одними из адекватных математических инструментов являются, по-видимому, теоретико-вероятностные методы. В связи с этим перспективными являются подходы, связанные с введением в рассмотрение субъективных вероятностей и специальных функций полезности, отвечающих набору рациональных требований [21, 22].

Другим возможным подходом, используемым в настоящей работе, является применения теории марковских процессов, оперирующих с абстрактными вероятностями изменений состояний системы. Применение теории марковских процессов, развивающихся в фиксированные моменты времени, т.е. марковских цепей, позволяет формализовать процессы представления чувственных образов в когнитивной системе.

Такая формализованная модель должна, очевидно, учитывать не только взаимодействие си-

стемы с внешним миром, но и по возможности описывать внутреннюю логику функционирования систем. Некоторые задачи вероятностного описания взаимных переходов состояния когнитивной системы в соответствии с ее внутренней логикой изучены в работе [23].

В связи этим целью настоящей работы является вероятностное описание функционирования когнитивной системы с учетом ее внутренней логики и взаимодействия с внешней средой. В настоящей работе модель учитывает стохастическую реакцию когнитивной системы на внешние раздражители, которые и принимаются за внешние чувственные образы. Основное внимание уделено изучению поведения когнитивной системы в зависимости от вероятностных характеристик взаимодействия системы с внешним миром

Методом решения задачи является применение теории марковских цепей с двумя состояниями.

В результате решения задачи показано, что учет взаимодействия когнитивной системы с внешним миром достигается введением в рассмотрение матрицы вероятностей реакции системы на внешние воздействия. Получены аналитические выражения для вероятностей пребывания системы в каждом из возможных состояний в зависимости от упомянутых вероятностей, представлены соответствующие графики. Изучено асимптотическое поведение системы при неограниченном увеличении числа шагов, изменяющих состояние системы, а также средние характеристики функционирования системы.

## 1. Марковская модель когнитивной организационно-технической системы

В работе [19] дано описание функционирования модуля когнитивной системы, который подлежит изучению в настоящей работе. Ключевую роль в функционировании когнитивных систем для решения задач целенаправленного поведения играет модуль формирования концептов – представлений. Модуль взаимодействует с внешним миром, получая чувственные образы, которые затем преобразуются в концепты – представления для выявления существенных признаков чувственных образов. Приведенное описание предполагает наличие в системе в процессе ее функционирования двух ключевых состояний.

Первое состояние, которое обозначим через  $A$ , характеризуется тем, что система свое состояние не меняет, а второе состояние, которое обозначим через  $B$ , характеризуется тем, что система свое состояние изменила. Простейшая марковская модель такой системы предложена в работе [23] и формулируется следующим об-

разом. Система может находиться в одном из двух состояний  $A$  и  $B$ . Вводится в рассмотрение стохастическая матрица  $P$  одношаговых переходных вероятностей системы вида

$$P = \begin{pmatrix} 1-a & a \\ b & 1-b \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

Если на предыдущем шаге система находилась в состоянии  $A$ , то вероятность перехода в состояние  $B$  обозначена через  $c$ , а если на предыдущем шаге система находилась в состоянии  $B$ , то вероятность перехода в состояние  $A$  обозначена через  $b$ . Под шагом марковской цепи будем понимать любое изменение в состоянии системы, которое может произойти в любой дискретный момент времени, число которых изменяется от нуля (начальное состояние системы) до текущего шага  $n$ .

Если кроме матрицы (1.1) ввести в рассмотрение и вектор начальных состояний системы  $P(0) = [p_A(0) \ p_B(0)]$ , то марковская цепь полностью определена и ее поведение может быть детально изучено.

Переход из состояния  $A$  в состояние  $B$  означает процедуру формирования обновленного концепта-представления, обратный переход интерпретируется как восстановление состояния готовности к обработке нового чувственного образа. В этой трактовке указанные вероятности характеризуют как взаимодействие системы с внешним миром, так и собственную логику функционирования.

Однако в ряде случаев такое определение статистических свойств системы может оказаться чрезмерно общим. В самом деле, при этом отсутствует отдельное описание логики функционирования самой системы и случайный процесс взаимодействия системы с окружающим миром, т.е. возникновения на входе чувственных образов и описание реакции на них системы.

В связи с этим рассмотрим следующую вероятностную модель взаимодействия системы с внешним миром. Пусть на некотором произвольном шаге система находится в состоянии  $A$ . Измеритель, являющийся неотъемлемой частью системы, регистрирует на входе системы некоторый чувственный образ, содержащий признаки, подлежащие сравнению с существенными признаками соответствующего концепта-представления. Поскольку регистрация, измерение, фиксация и т.п. чувственного образа всегда сопровождается ошибками, то можно только с некоторой вероятностью  $s$  утверждать, что данный образ содержит признаки, не приводящие к изменению состояния системы, а с вероятностью  $1 - s$  содержит признаки, приводящие к изменению состояния. Другими словами,  $s$  является вероятностью того, что чувственный образ «подействовал» на систему. На этом же шаге система в соответствии со своей внутренней ло-

гикой принимает решение об изменении или не изменении своего состояния в соответствии с матрицей (1.1). В целом вероятности изменения состояний системы иллюстрируются схемой на рис. 1.

Из схемы следует, что вероятность изменения состояния с *A* на *B* равна

$$c = sa + (1 - s)(1 - b), \quad (1.2)$$

а вероятность того, что система сохранит состояние *A*

$$1 - c = s(1 - a) + (1 - s)b \quad (1.3)$$

Аналогичный подсчет показывает, что вероятность изменения состояния с *B* на *A* равна

$$d = sb + (1 - s)(1 - a), \quad (1.4)$$

а вероятность сохранения состояния *B*

$$1 - d = s(1 - b) + (1 - s)a \quad (1.5)$$

Числа *c* и *d* в формулах (1.2)–(1.5) могут рассматриваться как вероятности одношаговых переходов новой, обобщенной стохастической матрицы

$$G = \begin{pmatrix} 1 - c & c \\ d & 1 - d \end{pmatrix} \quad (1.6)$$

Введенный ранее в рассмотрение вектор начальных состояний системы *P*(0) остается, очевидно, без изменения.

Таким образом, в данной модели матрица одношаговых переходов *P* (1.1) редуцируется в матрицу *G* одношаговых переходов (1.6) с со-

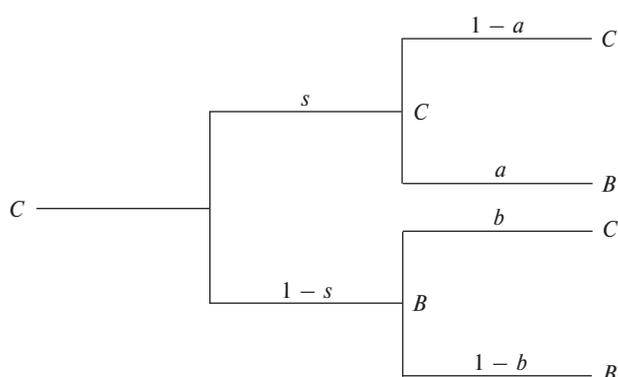


Рис. 1. Схема вероятностей перехода системы из состояния *A*

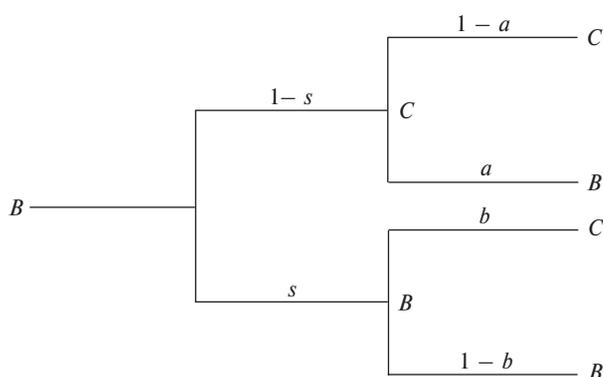


Рис. 2. Схема вероятностей перехода системы из состояния *B*

хранением вектора *P*(0) начальных состояний системы.

Отметим, что если ввести в рассмотрение матрицу вероятностей реакции системы на внешние воздействия

$$S = \begin{pmatrix} s & 1 - s \\ 1 - s & s \end{pmatrix}, \quad (1.7)$$

то матрицу *G* в (1.6) можно представить в виде произведения

$$G = SP. \quad (1.8)$$

В развернутом виде матрица *G* выглядит следующим образом:

$$G = \begin{pmatrix} s(1 - a) + (1 - s)b & sa + (1 - s)(1 - b) \\ sb + (1 - s)(1 - a) & s(1 - b) + (1 - s)a \end{pmatrix} \quad (1.9)$$

В матрице *G* первая строка и первый столбец соответствует состоянию *A*, вторая строка и второй столбец – состоянию *B*.

## 2. Исследование поведения когнитивной системы в зависимости от взаимодействия с внешней средой

Поведение систем с матрицами перехода вида (1.7) хорошо изучено [24, 25, 26]. Для использования известных результатов введем в рассмотрение следующие обозначения:

$P_A(n)$  – вероятность найти систему в состоянии *A* через *n* шагов,

$p_B(n)$  – вероятность найти систему в состоянии *B* через *n* шагов,

$P(n) = (p_A(n)p_B(n))$  – вектор-строка вероятностей состояний системы через *n* шагов

$P(0) = (p_A(0)p_B(0))$  – вектор-строка начальных вероятностей состояний системы.

Очевидно, что

$$p_A(n) + p_B(n) = 1, \quad n = 0, 1, \dots \quad (2.1)$$

Матрица вероятностей одношаговых переходов *G* и строка начальных вероятностей *P*(0) полностью определяют поведение системы.

Вероятности состояния системы через *n* шагов определяется матричным соотношением

$$P(n) = P(0)G^n, \quad (2.2)$$

где через  $G^n$  обозначена *n*-я степень стохастической матрицы *G*.

Элементы  $g_{ij}(n)$  (*i, j* = 1, 2) матрицы  $G^n$  определяют переходные вероятности системы через *n* шагов, причем

$$g_{11} + g_{12} = 1 \quad (2.3)$$

$$g_{21} + g_{22} = 1 \quad (2.4)$$

$$g_{12}(n) = \frac{c}{c + d} [1 - (1 - c - d)^n], \quad (2.5)$$

$$g_{21}(n) = \frac{d}{c + d} [1 - (1 - c - d)^n], \quad (2.6)$$

$$g_{11}(n) = \frac{d}{c+d} + \frac{c}{c+d}(1-c-d)^n, \quad (2.7)$$

$$g_{22}(n) = \frac{c}{c+d} + \frac{d}{c+d}(1-c-d)^n, \quad (2.8)$$

Подставляя выражения элементов матрицы  $G^n$  в (2.2), получим для элементов строки  $P(n)$

$$p_A(n) = \frac{1}{c+d} \left[ d + [(cp_A(0) - dp_B(0))](1-c-d)^n \right], \quad (2.9)$$

$$p_B(n) = \frac{1}{c+d} \left[ c + [(dp_B(0) - cp_A(0))](1-c-d)^n \right], \quad (2.10)$$

Из соотношений (2.9) и (2.10) следует, что существует стационарное состояние при неограниченном увеличении числа шагов:

$$\begin{aligned} p_A(\infty) &= p_A = \frac{d}{c+d} = \\ &= \frac{sb + (1-s)(1-a)}{sa + (1-s)(1-b) + sb + (1-s)(1-a)} \quad (2.11) \\ p_B(\infty) &= p_B = \\ &= \frac{sa + (1-s)(1-b)}{sa + (1-s)(1-b) + sb + (1-s)(1-a)} = 1 - p_A \quad (2.12) \end{aligned}$$

В соотношениях (2.11), (2.12) явно указаны вероятности  $s$  взаимодействия системы с внешней средой и легко поддаются изучению.

В соответствии с постановкой задачи будем интересоваться влиянием вероятностей восприятия системой чувственных образов на вероятностное поведение системы в целом.

Поведение вероятностей стационарного состояния  $B$ , рассчитанные по соотношению (2.12) для некоторых значений параметров представлено на рис. 3. Видно отчетливое влияние упомянутых вероятностей на вероятностное поведение системы в целом.

С учетом трактовки переходных вероятностей в дальнейшем будем интересоваться переходными вероятностями  $g_{12}(n)$  и  $g_{21}(n)$ , связанными с изменением состояний, а также одной из абсолютных вероятностей  $p_B(n)$  перехода системы через  $n$  шагов в состояние  $B$ .

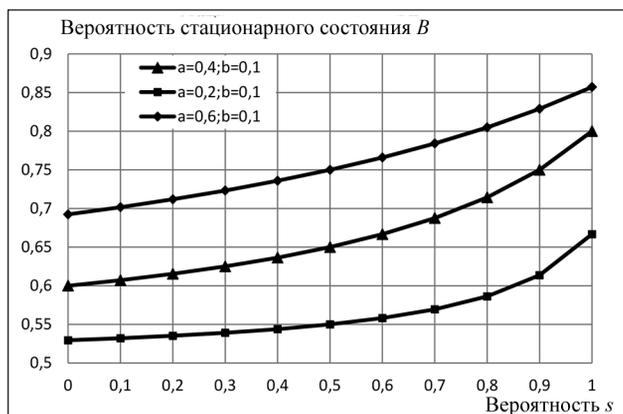


Рис. 3. Вероятность стационарного состояния  $B$  в зависимости от вероятности  $s$

На рис. 3 представлен пример поведения вероятности состояния  $B$  системы в зависимости от числа шагов марковской цепи. Параметром является вероятность  $s$  восприятия системой чувственного образа. Из рисунка видно, что система практически достигает стационарного состояния (2.12) через 10 шагов.

На рис. 4 представлено поведение состояния  $B$  системы в зависимости от числа шагов марковской цепи, рассчитанное по соотношению (2.10). Параметром является вероятность  $s$ . Очевидно, стационарные вероятности состояния  $B$ , зафиксированные на рис. 4, практически совпадают с аналогичными вероятностями на рис. 3. Рисунок иллюстрирует возможность определения динамики изменения состояния  $B$  системы в зависимости от числа шагов. Отметим, что для данных параметров системы стационарные состояния вида (2.12) достигаются практически за единицы шагов. Необходимо также отметить, что поведение указанной вероятности не всегда является монотонным.

### 3. Среднее число коррекций существенных признаков

Логика функционирования системы диктует необходимость оценки числа коррекций существенных признаков чувственного образа (обновлений концептов-представлений), реализуемых в системе (более конкретно – в модуле формирования концептов-представлений). В представленной модели такие коррекции реализуются в состоянии  $B$ , поэтому изучим статистические характеристики марковской цепи по отношению к этому состоянию. В общем виде эта задача решена в [23].

Математическое ожидание случайного числа скорректированных к шагу номер  $n$  признаков равно

$$S(n) = \sum_{i=1}^n \kappa_{j2}(i) g_{12}(i), \quad (3.1)$$

где через  $\kappa_{12}(i)$  обозначено математическое ожидание числа признаков, корректируемых на

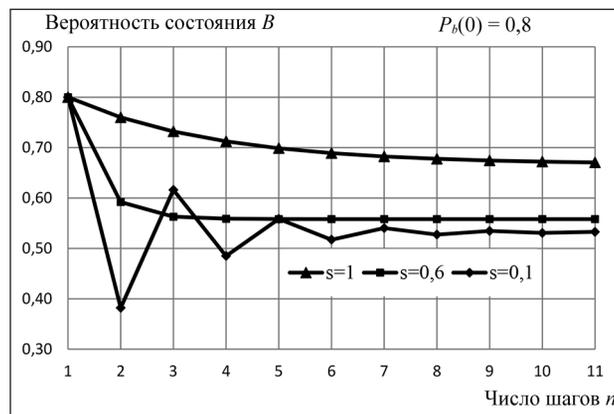


Рис. 4. Вероятность состояния  $B$  в зависимости от числа шагов и вероятностей  $s$

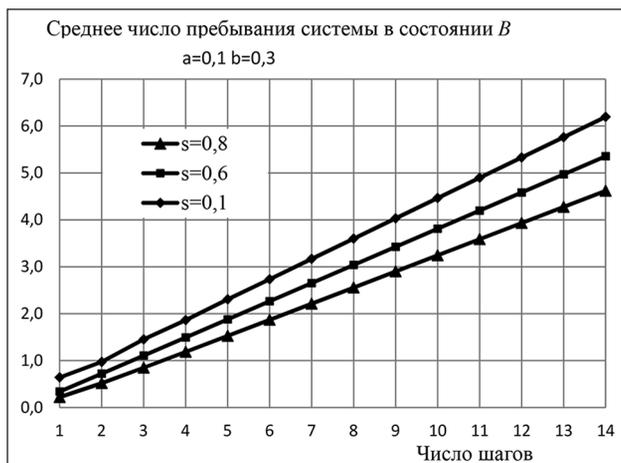


Рис. 5. Среднее число пребывания системы в состоянии B

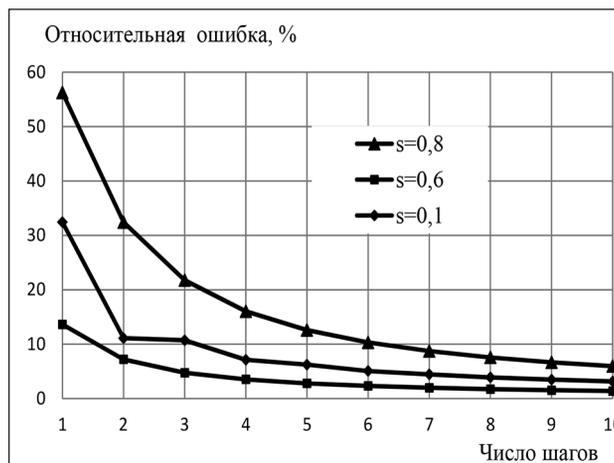


Рис. 6. Относительная погрешность

шаге номер  $i$ . Упрощение достигается, если положить, что все математические ожидания  $\kappa_{12}(i)$  не зависят от номера шага и одинаковы, т.е.

$$\kappa_{12}(i) = \kappa_{12} = \kappa \quad (3.2)$$

Тогда

$$S(n) = \kappa \sum_{i=1}^n g_{12}(i), \quad (3.3)$$

Соотношение (3.3) может быть использовано для определения среднего числа шагов, необходимых для коррекции первоначально воспринятого системой чувственного образа.

Легко заметить, что в соотношении (3.3) сумма представляет собой среднее число пребывания системы в состоянии B, а среднее число коррекций пропорционально этой величине. В связи с этим в данной ситуации удобно изучать поведение среднего числа пребывания системы в состоянии B, пример которого в зависимости от числа шагов цепи с параметром  $s$  представлено на рис. 5.

Представляет интерес изучение среднего значения числа коррекций признаков системы при неограниченном увеличении числа шагов  $n$ . В работе [23] показано, что при неограниченном возрастании  $n$  все более точным становится равенство

$$S(n) = \kappa \sum_{i=1}^n g_{12}(i) = knp_B \quad (3.4)$$

Относительная погрешность такой замены равна

$$\lambda = \left| 1 - \frac{knp_B}{\kappa \sum_{i=1}^n g_{12}(i)} \right| = \left| 1 - \frac{np_B}{\kappa \sum_{i=1}^n g_{12}(i)} \right| \quad (3.5)$$

и стремится к нулю при неограниченном увеличении  $n$ .

На рис. 6 представлено поведение относительной погрешности указанной замены. Очевидно, что и эта характеристика существенно зависит от параметра, являющегося вероятностью реакции системы на внешние воздействия. Таким образом, если известно число признаков, подлежащих коррекции, то среднее число необходимых шагов определяется по формуле (3.3).

### Заключение

В работе сформулирована достаточно общая модель случайного процесса формирования чувственных образов когнитивной системы в процессе ее функционирования, основанная на теории марковских цепей. Основными характеристиками такой модели являются вероятности перехода системы из одного состояния в другое. Ключевым аспектом модели является включение в рассмотрение наряду с вероятностями, определяемыми внутренней логикой системы также и вероятностей реакции системы на внешние чувственные образы, которые и формируют модель внешнего мира когнитивной системы. Модель позволяет проводить анализ поведения гипотетической когнитивной системы в зависимости от указанных абстрактных вероятностей.

Представленное описание является формальным, оперирует только с вероятностными характеристиками системы и не учитывает конкретные сигналы, которые могут поступать в систему от ее датчиков, сенсоров и вообще чувствительных элементов. В связи с этим дальнейшее развитие модели может быть связано с оценкой вероятностей реакции системы на внешние воздействия с учетом характеристик упомянутых конкретных сигналов, а также разработкой оптимальных алгоритмов принятия решений о наличии или отсутствии воздействий на систему со стороны окружающего мира.

## Литература

1. Кузнецов О.П. Когнитивная семантика и искусственный интеллект // Искусственный интеллект и принятие решений. 2004. № 4. С. 32–42.

2. Rosch E. Cognitive representations of semantic categories // Journal of Experimental Psychology. 1975. 104. P. 192–233.

3. Лакофф Дж. Лингвистические гештальты. Новое в зарубежной лингвистике. Выпуск X Лингвистическая семантика. М.: Прогресс, 1981.

4. Sowa J.F. Conceptual Structures - Information Processing in Mind and Machines. Addison-Wesley Publ.Comp.1984.

5. Валькман Ю.Р. О когнитивной семиотике // Сборник трудов XIV Международной конференции «Искусственный интеллект (КИИ-2014)» (Россия, Казань, октябрь 2014) Казань, 2014. Т.1.

6. Валькман Ю. Р. Когнитивная семиотика: гештальты и метафоры // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VIII-й международной научно-практической конференции (ИММВ-2015, Коломна). Т.1. М.: Физматлит, 2015.

7. Лапаева Л.Г., Быченков О.А., Рогаткин Д.А. Нейробиология, понятийные категории языка и элементарная модель мира робота // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ 2016 (3–7 октября 2016 г., Смоленск, Россия): Труды конференции. Т. 2. Смоленск: Универсум, 2016. С. 292–300.

8. Гаврилова Т.А., Болотникова Е.С., Гулякина Н.А. Категоризация знаний для создания онтологий. Материалы 4-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления МКПУ-2011. Т.1. Таганрог: Издательство ТТИ ЮФУ, 2011. С. 62–66.

9. Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы: Учебник. СПб.: Издательство «Лань», 2016. 324 с.

10. Чудова Н.В. Концептуальное описание картины мира в задачах моделирования поведения // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 2.

11. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. 584 с.

12. Вагнер Г. Основы исследования операций. М.: Мир, 1972. Т. 1. 335 с., Т. 2. 488 с., Т. 3. 501 с.

13. Губко М. В., Новиков Д. А. Теория игр в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2002. 148 с.

14. Нейман Д., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 708 с.

15. Myerson R. B. Game theory: analysis of conflict. London: Harvard Univ. Press, 1991. 568 p.

16. Опе О. Теория графов. М.: Наука, 1968. 352 с.

17. Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2001. 124 с.

18. Трембач В.М., Когнитивный подход к созданию интеллектуальных модулей организационно-технических систем // Открытое образование. 2017. № 2. С. 78–87.

19. Трембач В.М. Интеллектуальная система с использованием концептов-представлений для решения задач целенаправленного поведения // Открытое образование. 2018. Т. 22. № 1. С. 28–37.

20. Тельнов Ю.Ф. Модель многоагентной системы реализации информационно-образовательного пространства // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24–27 сентября 2014 г., г. Казань, Россия): Труды конференции. Т. 1. Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. С. 334–345.

21. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978. 352 с.

22. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения. М.: Мир, 1974. 492 с.

23. Солодов А.А. Статистический анализ механизма формирования концептов-представлений в организационно-технических системах // Открытое образование. 2017. Т. 15. № 4. С. 70–76.

24. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. М.: Советское радио, 1977. 488 с.

25. Тихонов В.И., Кульман Н.К. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов. М.: Советское радио, 1975. 704 с.

26. Кемени.Дж., Снелл Дж., Томпсон Дж. Введение в конечную математику. Пер. с англ. М.: Издательство иностранной литературы, 1963. 486 с.

## References

1. Kuznetsov O.P. Cognitive semantics and artificial intelligence. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy* = Artificial intelligence and decision making. 2004. № 4: 32–42. (In Russ.)

2. Rosch E. Cognitive representations of semantic categories. *Journal of Experimental Psychology*. 1975. 104: 192–233.

3. Lakoff Dzh. *Lingvisticheskiye geshtal'ty. Novoye v zarubezhnoy lingvistike*. Vypusk X Lingvis-

ticheskaya semantika = Linguistic gestalts. New in foreign linguistics. Release X *Linguistic semantics*. Moscow: Progress; 1981. (In Russ.)

4. Sowa J.F. *Conceptual Structures - Information Processing in Mind and Machines*. Addison-Wesley Publ.Comp; 1984.

5. Val'kman Y.R. On cognitive semiotics. *Sbornik trudov XIV Mezhdunarodnoy konferentsii «Iskusstvennyy intellekt (KII-2014)»* = Collection of works of the XIV International Conference «Arti-

ficial Intelligence (CII-2014)» (Russia, Kazan, October 2014) Kazan; 2014; 1. (In Russ.)

6. Val'kman Y. R. Cognitive semiotics: gestalts and metaphors. Integrirovannyye modeli i myagkiye vychisleniya v iskusstvennom intellekte. Sbornik nauchnykh trudov VIII-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Integrated models and soft calculations in artificial intelligence. Collection of scientific papers of the VIII-th International Scientific and Practical Conference (IMMV-2015, Kolomna). Vol.1. Moscow: Fizmatlit; 2015. (In Russ.)

7. Lapayeva L.G., Bychenkov O.A., Rogatkin D.A. Neurobiology, conceptual categories of language and the elementary model of the robot world. Pyatnadsataya natsional'naya konferentsiya po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiyem KII 2016 = Fifteenth National Conference on Artificial Intelligence with international participation KII 2016 (October 3–7, 2016, Smolensk, Russia): Proceedings of the Conference. T. 2. Smolensk: Universum; 2016: 292–300. (In Russ.)

8. Gavrilova T.A., Bolotnikova E.S., Gulyakina N.A. The categorization of knowledge to create ontologies. Materialy 4-y Vserossiyskoy mul'tikonferentsii po problemam upravleniya MKPU-2011. = Proceedings of the 4th Russian Multiconference on the problems of management of MCPU-2011. Vol.1. Taganrog: Publishing House TTI SFU; 2011: 62–66. (In Russ.)

9. Gavrilova T.A., Kudryavtsev D.V., Muromtsev D.I. Inzheneriya znaniy. Modeli i metody: Uchebnik = Knowledge Engineering. Models and methods: Textbook. Saint Petersburg: Lan' publishing house; 2016. 324 p. (In Russ.)

10. Chudova N.V. Kontseptual'noye opisaniye kartiny mira v zadachakh modelirovaniya povedeniya. Iskustvennyy intellekt i prinyatiye resheniy = Artificial Intelligence and Decision Making. 2012; 2. (In Russ.)

11. Novikov D.A. Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami = Theory of management of organizational systems. Moscow: MPSI; 2005. 584 p. (In Russ.)

12. Vagner G. Osnovy issledovaniya operatsiy = Basics of operations research. Moscow: Mir; 1972; 1. 335 p.; 2. 488 p.; 3. 501 p. (In Russ.)

13. Gubko M. V., Novikov D. A. Teoriya igr v upravlenii organizatsionnymi sistemami. = Game Theory in the Management of Organizational Systems. Moscow: Sinteg; 2002. 148 p. (In Russ.)

14. Neyman D., Morgenshtern O. Teoriya igr i ekonomicheskoye povedeniye = Game Theory and

Economic Behavior. Moscow: Science; 1970. 708 p. (In Russ.)

15. Myerson R. B. Game theory: analysis of conflict. London: Harvard Univ. Press; 1991. 568 p.

16. Ore O. Teoriya grafov = Graph theory. Moscow: Science; 1968. 352 p. (In Russ.)

17. Burkov V.N., Zalozhnev A.Y., Novikov D.A. Teoriya grafov v upravlenii organizatsionnymi sistemami = Theory of graphs in the management of organizational systems. Moscow: Sinteg; 2001. 124 p. (In Russ.)

18. Trembach V.M. Cognitive approach to the creation of intelligent modules of organizational and technical systems. Otkrytoye obrazovaniye = Open Education. 2017. № 2: 78–87. (In Russ.)

19. Trembach V.M. Intellectual system with the use of concepts-representations for solving problems of purposeful behavior. Otkrytoye obrazovaniye = Open Education. 2018; 22 (1): 28–37. (In Russ.)

20. Tel'nov Y.F. Model of a multi-agent system for implementing the information and educational space. Chetyrnadsataya natsional'naya konferentsiya po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiyem KII-2014 = Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence with International Participation KII-2014 (September 24–27, 2014, Kazan, Russia): Proceedings of the Conference. Vol. 1. Kazan: Publishing House RIC «School»; 2014: 334–345. (In Russ.)

21. Fishbern P. Teoriya poleznosti dlya prinyatiya resheniy = Theory of utility for decision-making. Moscow: Science; 1978. 352 p. (In Russ.)

22. De Groot M. Optimal'nyye statisticheskiye resheniya = Optimal statistical solutions. Moscow: Mir; 1974. 492 p. (In Russ.)

23. Solodov A.A. Statistical analysis of the mechanism for the formation of concept-representations in organizational and technical systems. Otkrytoye obrazovaniye = Open Education. 2017; 15 (4): 70–76. (In Russ.)

24. Tikhonov V.I., Mironov M.A. Markovskiy protsessy = Markov processes. Moscow: Soviet Radio; 1977. 488 p. (In Russ.)

25. Tikhonov V.I., Kul'man N.K. Nelineynaya fil'tratsiya i kvazikogerentnyy priyem signalov = Nonlinear filtering and quasi-coherent signal reception. Moscow: Soviet Radio; 1975. 704 p. (In Russ.)

26. Kemeni D., Snell D., Tompson D. Vvedeniye v konechnuyu matematiku = Introduction to final mathematics. Tr. fr. Eng. Moscow: Publishing house of foreign literature; 1963. 486 p. (In Russ.)

#### Сведения об авторе

**Александр Александрович Солодов**

Д.т.н, профессор, профессор кафедры  
Прикладной математики и программирования  
Российский государственный университет  
им. А.Н. Косыгина, Москва, Россия  
Эл. почта: aasol@rambler.ru

#### Information about the author

**Aleksander A. Solodov**

Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the  
Department of applied mathematics and programming  
Kosygin Russian State University,  
Moscow, Russia  
E-mail: aasol@rambler.ru