

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (05.13.18)

УДК 681.3.01(075):519.71

DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-113-119

Метод расчета с использованием когнитивной карты и данных наблюдений реакции объекта управления на внешнее воздействие

Г.А. Фомин, М.М. Полотнов

Рассмотрен метод получения количественного прогноза развития процессов в объекте управления при изменении по какой-то причине значения одного из факторов, характеризующих объект. Предполагается, что экспертами сформирована когнитивная карта, входящие в неё факторы достаточно хорошо отражают процессы в объекте, а их значения могут быть представлены как с помощью количественных, так и качественных шкал. Для выполнения расчетов необходимо иметь в распоряжении представительную совокупность наблюдений, сделанных на изучаемом объекте. Расчет прогноза реакции объекта основан на методе исследования сложных систем, модели которых представляются орграфом, и методе ближайших соседей. Предложен метод оценки точности прогноза с помощью модифицированного метода складного ножа. В сопоставимых условиях на примере проведены расчеты, показавшие достаточно хорошее согласие прогнозов, получаемых предлагаемым способом и способом, основанном на использовании когнитивной модели объекта. В качестве еще одного примера даны результаты расчета прогноза и оценки точности по данным о связи научно-исследовательских работ и учебного процесса в учебном заведении. Когнитивная карта объекта содержит семь факторов с разными шкалами представления их значений.

Ключевые слова: когнитивная карта, реакция объекта на воздействие, прогноз по модели, количественные и качественные шкалы факторов, автономный импульсный процесс в орграфе, методы ближайших соседей и складного ножа.

Для цитирования: Фомин Г.А., Полотнов М.М. Метод расчета с использованием когнитивной карты и данных наблюдений реакции объекта управления на внешнее воздействие // Вестник МЭИ. 2020. № 2. С. 113—119. DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-113-119.

A Method for Predicting the Control Object Response to an External Input Using a Cognitive Map and Response Observation Data

G.A. Fomin, M.M. Polotnov

A method for quantitatively predicting the development of processes in a control object in response to a change, for some reason, in the value of one of the factors characterizing the object is considered. It is assumed that experts have drawn up a cognitive map; that the factors included in it adequately describe the processes in the object, and that the values of these factors can be presented using both quantitative and qualitative scales. To perform a numerical analysis, a representative set of observations made on the object under study should be available. The object reaction forecast is computed using the method of studying complex systems, the models of which are represented by a digraph, and using the method of nearest neighbors. A procedure for estimating the forecast accuracy using a modified jack-knife method is proposed. For an example representing commensurable conditions, computations were carried out, which have shown fairly good agreement between the forecasts obtained by the proposed method and the method based on using the object's cognitive model. As another example, the results from calculating the forecast and estimating the accuracy based on the data about the relation between research work and the educational process in an educational institution are given. The object cognitive map includes seven factors with different scales for representing their values.

Key words: cognitive map, object response to an input, model-based prediction, quantitative and qualitative scales of factors, autonomous impulse process in a digraph, nearest neighbors method, jack-knife method.

For citation: Fomin G.A., Polotnov M.M. A Method for Predicting the Control Object Response to an External Input Using a Cognitive Map and Response Observation Data. Bulletin of MPEI. 2020;2:113—119. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-113-119.

Введение

Построение и использование когнитивных карт и моделей — одно из перспективных направлений решения задач исследования и управления сложными объектами. Одна из таких задач — прогнозирование последствий изменения состояния объекта, обусловленного природными причинами или целенаправленным воздействием системы управления. Ее решение должно позволить выбрать наилучшую стратегию управления объектом или предотвратить нежелательное его изменение.

Состояние объекта представляется значениями совокупности некоторых факторов, доступных для восприятия с помощью измерительных средств или органов чувств человека. Указанные факторы отражают процессы, протекающие в объекте и обычно взаимосвязанные, что порождает взаимосвязь соответствующих факторов. Когнитивные карты и модели показывают эти связи с разной степенью детализации [1 — 4]. Первоначально их использовали в психологических и социально-экономических исследованиях, затем распространили на другие предметные области, например, на задачи поддержки принятия управленческих решений [5 — 15].

Существуют несколько вариантов определений понятий когнитивных карт и моделей. Рассмотрим их в интерпретации, приведенной в книге Э.А. Трахтенгерца [1].

Так, когнитивные карты обычно отражают лишь направления межфакторных связей, а модели содержат также порядковые значения сил этих связей, отражающих степень влияния одних факторов на другие. И карты, и модели составляются экспертами, хорошо знающими процессы в объекте. Таким образом, они представляют собой формализацию субъективных знаний экспертов об объекте, и потому их соответствие объекту существенным образом зависит от адекватности знаний экспертов. В то время как связи процессов известны достаточно хорошо, указание сил связей может протекать с заметными ошибками.

Поскольку когнитивные карты и модели используются для обоснования управленческих решений, их создание связано с серьезной ответственностью экспертов за результаты своей работы. Когнитивные карты, отражающие только связи факторов, более точны. Когнитивные модели требуют большей детализации и, следовательно, более высокой квалификации и ответственности экспертов.

В публикации [16] рассмотрено применение когнитивной модели для прогнозирования реакции объекта на внешние воздействия. Предложенный метод применим при двух важных условиях: полностью определена когнитивная модель, а значения всех факторов представлены в количественных шкалах. При исследовании сложных объектов оба условия трудновыполнимы.

Выход может быть найден при наличии наблюдений, сделанных на изучаемом объекте. Наблюдения

используют для получения оценок сил межфакторных связей и, следовательно, для превращения когнитивной карты в модель. Данные наблюдений содержат объективную информацию об объекте, и модель оказывается более точной по сравнению с получаемой на основании знаний экспертов. Разумеется, так будет только при достаточном числе наблюдений и соблюдении условий их представительности.

При выполнении второго условия (все факторы являются количественными) полученную когнитивную модель применяют для прогноза ожидаемых изменений состояния объекта. В этом случае точность прогноза определяется не только точностью метода прогнозирования, но и точностью оценок сил связи в когнитивной модели.

Сделана попытка составления прогноза непосредственно по данным наблюдений при отказе от необходимости расчета оценки когнитивной модели.

Задача прогнозирования процессов в объекте управления по когнитивной карте при наличии совокупности наблюдений, сделанных на объекте

Пусть на объекте существует возможность в разные моменты времени определять значения n факторов: X_1, X_2, \dots, X_n . Значения факторов могут быть представлены с помощью разных шкал: количественных, ординальных, номинальных. Тип шкалы представления значений для каждого фактора известен, так же как и его доменные характеристики.

Предполагается наличие наблюдений, сделанных на объекте и объединенных в таблицу X с N строками и n столбцами, в которой столбец с номером q содержит значения фактора X_q , а строка с номером p — наблюдения, определенные в некоторый момент времени значения всех факторов. Пусть ординальные факторы представлены в ранговом виде. Для исключения влияния масштабов на результаты расчетов значения количественных и ординальных факторов нормируются. Значения номинальных факторов выглядят в виде кодов или вербальных определений. Это могут быть фамилии некоторых сотрудников или названия городов.

Состояние объекта в некоторый момент времени характеризуются совокупностью значений факторов, определяемых в этот момент каким-либо способом. Значения количественных факторов определяются с помощью технических средств измерения, а значения ординальных и номинальных факторов часто задаются персоналом, работающим с объектом.

Поскольку в объекте могут протекать переходные процессы, считается, что наблюдения соответствуют некоторым установившимся состояниям объекта. Относительно совокупности наблюдений предполагается, что она является представительной, т. е. собранные в ней данные достаточно полно представляют процессы, протекающие в объекте. В частности, для порядко-

вых и номинальных факторов в наблюдениях должны быть представлены все возможные значения шкал.

Кроме того имеется когнитивная карта, отражающая взаимосвязи факторов. Она может выглядеть в виде таблицы или ориентированного графа. Так, таблица \mathbf{K} имеет размер $n \times n$ и, если в её ячейке $K(i, j)$, расположенной в строке i и столбце j имеется метка « v », то это означает, что фактор X_i влияет на фактор X_j . При этом сила влияния и даже его знак — неизвестны. Отсутствие метки в некоторой ячейке таблицы указывает на то, что связь соответствующих факторов отсутствует или, по крайней мере, она не выявлена.

Задано некоторое исходное состояние объекта, определенное значениями всех n факторов: $\mathbf{x}_n = (x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{nn})^T$, и измененное в результате внешнего воздействия или управления состояние $\mathbf{x}_y = (x_{1y}, x_{2y}, \dots, x_{ny})^T$. В измененном состоянии значение хотя бы одного фактора должно отличаться от его значения в исходном состоянии.

Как отмечено в [16], изменение значений факторов ведет к появлению в объекте процессов изменения значений факторов, похожих на переходные процессы в динамических объектах. Указанные процессы могут привести к переходу объекта в новое установившееся состояние, а в некоторых случаях, даже к неустойчивости. Цель работы — разработка и исследование метода прогнозирования по располагаемым данным развития процессов с получением оценок значений факторов. Кроме того, необходимо найти способ оценки точности получаемых прогнозов. Отметим, что в рассмотренном ранее методе прогнозирования реакции объекта по когнитивной модели такие оценки точности получить не удалось.

Метод прогнозирования

При изучении реакции объекта использован способ, аналогичный применяемому при анализе автономных импульсных процессов в орграфах [17, 18]. Введем понятие текущего состояния объекта \mathbf{x}_t . Оно последовательно меняется в процессе реакции объекта на внешнее воздействие и в начальный момент совпадает с измененным состоянием \mathbf{x}_y .

Пусть \mathbf{x}_y отличается от \mathbf{x}_n значениями k ($k < n$) факторов с индексами i_1, i_2, \dots, i_k . В задаче управления данные факторы обычно управляемы, их значения меняются в соответствии с принятым управленческим решением. Они составляют первый «фронт» измененных факторов. По когнитивной карте определим совокупность зависимых факторов, для которых факторы из «фронта» будут влияющими. Допустим, число факторов равно m , и они имеют индексы l_1, l_2, \dots, l_m . Поочередно рассчитаем прогноз значения каждого зависимого фактора.

В качестве примера рассмотрим прогноз значения зависимого фактора с индексом l_1 . В общем случае на него влияют не только факторы из «фронта», но и некоторые другие из числа тех, которые определяют состоя-

ние объекта. Пусть на него воздействует совокупность из g факторов с индексами h_1, h_2, \dots, h_g . Для прогнозирования по имеющимся данным наблюдений значения зависимого фактора используем метод ближайших соседей [19]. В качестве преимущества метода укажем на возможность его применения для прогнозирования значений зависимых факторов с различными шкалами представления их значений. При этом из таблицы X отберем подмножество N_{bc} строк, которые по некоторой мере наиболее близки к текущему состоянию объекта. Выбор меры и числа соседей составляют тему отдельного исследования. В частности, могут использоваться обычное евклидово расстояние и число соседей, примерно равное $0,01N$. Для номинальных факторов значение компоненты меры близости равно 0 при совпадении значений у «соседа» и у текущего состояния и 1 — при их несовпадении.

Если зависимый фактор — количественный или порядковый, то по подмножеству рассчитаем среднее значение этого фактора. При ординальной шкале оно округляется до ближайшего целого. Если зависимый фактор — номинальный, то выберем наиболее часто упоминавшееся значение фактора среди ближайших соседей. Его примем за прогнозируемое значение зависимого фактора.

Аналогичным образом вычислим прогнозируемые значения всех m зависимых факторов. После этого текущее состояние переименуем в исходное, а новое текущее состояние будет отличаться от него вычисленными значениями факторов, которые и составят новый «фронт» измененных факторов. После этого повторим всю процедуру до тех пор, пока совокупность зависимых факторов не окажется пустой, или пока вычисленные значения зависимых факторов перестанут заметно отличаться от предыдущих текущих значений. Обозначим достигнутое состояние как \mathbf{x}_c .

Оценка точности прогноза

Для оценки точности прогноза используем метод складного ножа [20]. Из совокупности наблюдений предварительно отберем наперед заданное число N_{np} наблюдений \mathbf{X}_{np} , в которых состояние объекта «подобно» \mathbf{x}_y . Применим меру подобия, аналогичную мере близости при отборе ближайших соседей. Значение меры вычислим для каждого наблюдения из \mathbf{X} по всем n факторам. Употребление при расчете оценки точности подмножества «подобных» наблюдений должно позволить исключить нелинейные эффекты, возникающие при больших отличиях наблюдавшихся состояний объекта от рассматриваемых в задаче прогнозирования.

При расчете оценки точности прогноза поочередно из ХП исключим по одному наблюдению \mathbf{x}_q , принимаемому в качестве \mathbf{x}_y , и для него вычислим прогноз реакции объекта с начальным «фронтом», состоящим из факторов с теми же индексами i_1, i_2, \dots, i_k . После завершения подсчета реакции получим компоненту меры

точности для фактора x_r по его значениям в наблюдении и прогнозе

$$T_{rq} = (x_{rq} - \hat{x}_{rq})^2$$

для количественных и порядковых факторов

$$T_{rq} = 0, \text{ если } x_{rq} = \hat{x}_{rq};$$

$$T_{rq} = 1, \text{ если } x_{rq} \neq \hat{x}_{rq}.$$

После того, как в качестве x_q побывают все наблюдения из ХП, получим общую меру точности в виде вектора с компонентами

$$T_r = \sum_{q=1}^{N_{П}} T_{rq} / N_{П}.$$

Наконец, для количественных и порядковых факторов из компоненты извлечем квадратный корень и поделим ее на разность наибольшего и наименьшего возможных значений фактора.

Таким образом, для количественных и порядковых факторов компоненты меры точности представляют собой оценки нормированного среднего квадратического отклонения, а для номинальных факторов — оценки вероятности ошибки в определении значений факторов.

Расчет прогнозов реакций и, особенно, оценок их точности имеет достаточно большой объем вычислительной работы, поэтому был разработан специализированный комплекс программ, позволяющий также создавать имитационные данные по заданной когнитивной модели и при заданных характеристиках факторов [21].

Сравнение методов расчета на примере

Рассмотрим пример, на котором проведем сравнение расчета реакции объекта на воздействие двумя путями: рассмотренным в [16] способом расчета прогноза по когнитивной модели без использования данных наблюдений (вариант 1) и методом, изучаемым в данной работе (вариант 2).

Пусть задана когнитивная модель объекта, представленная в табл. 1. Для обеспечения возможности использования первого варианта все факторы должны быть количественными. Известны диапазоны изменения факторов. Пусть начальное состояние объекта характеризуется вектором $x_{н} = (11; -3,5; 0,2; -0,1; 115; 5,1; 5,8)^T$. Измененное в результате внешнего воздействия состояние задается вектором $x_{у} = (10; -4,5; 0,2; -0,1; 115; 5,1; 5,8)^T$. Видно, что воздействие определяется изменением первых двух факторов.

Результаты расчета реакции объекта с помощью второго варианта представлены в табл. 2. Для его применения нужны данные наблюдений. Они сгенерированы по когнитивной модели так, как это описано в [21]. Получена совокупность из $N = 1000$ наблюде-

ний. С помощью второго варианта рассчитан прогноз реакции объекта (табл. 3).

Также получен вектор оценок мер точности: $T = (0,0; 0,0; 0,07; 0,02; 0,04; 0,04; 0,07)^T$. Сравнение результатов табл. 2, 3 показало их хорошее соответствие друг другу.

Пример расчета при наличии нечисловых факторов

Одно из достоинств способа, предложенного в настоящей работе, — возможность его применения для факторов с разными типами шкал представления их значений. Для подтверждения описанного преимущества рассмотрим следующий пример.

В качестве объекта возьмем учебное заведение, в котором наряду с учебным процессом проводятся научно-исследовательские работы (НИР). Они влияют на учебный процесс, и наоборот, учебный процесс влияет на НИР. Пусть состояние объекта определяется $n = 7$ факторами, связи между которыми характеризуются когнитивной картой, представленной табл.4.

Факторы в составе когнитивной карты обладают следующими характеристиками: количественные X_1 и

Таблица 1

Когнитивная модель объекта

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	—	—	0,5	-0,7	—	—	—
X_2	—	—	—	0,8	—	—	—
X_3	—	—	—	—	0,6	-0,7	—
X_4	—	—	—	—	-0,5	0,5	—
X_5	—	—	—	—	—	—	0,4
X_6	—	—	—	—	—	—	-0,6
X_7	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 2

Прогноз реакции объекта (вариант 1)

Фронт	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1	10	-4,5	0,2	-0,1	115	5,1	5,8
2	10	-4,5	0	-0,2	115	5,1	5,8
3	10	-4,5	0	-0,2	102	4,9	5,8
4	10	-4,5	0	-0,2	102	4,9	6,2

Таблица 3

Прогноз реакции объекта (вариант 2)

Фронт	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1	10	-4,5	0,2	-0,10	115	5,10	5,80
2	10	-4,5	-1,98	-0,19	115	5,10	5,80
3	10	-4,5	-1,98	-0,19	104	4,95	5,80
4	10	-4,5	-1,98	-0,19	104	4,95	5,97

Когнитивная карта объекта в примере

Факторы	Шкала		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Финансирование НИР	количественная	X_1		V					
Результаты НИР	количественная	X_2			V	V	V		
Квалификация исполнителей	порядковая	X_3		V		V	V		
Готовность результатов	порядковая	X_4						V	V
Новизна результатов НИР	порядковая	X_5		V					V
Учебная продукция	номинальная	X_6							
Новые дисциплины	номинальная	X_7							

X_2 меняются в диапазоне значений от -16 до $+14$ и от -9 до $+8$. Порядковые X_3 и X_5 имеют по 3 и 7 рангов, номинальные X_4 , X_6 и X_7 — 5, 11 и 7 номинальных значений. Таблица X состоит из $N = 1000$ наблюдений. В качестве исходного взято состояние объекта со значением $x_n = (5,5; -6,3; 2; x_{33}; 4; x_{64}; x_{75})^T$, а в качестве измененного — состояние с $x_y = (9,2; -6,3; 2; x_{33}; 4; x_{64}; x_{75})^T$. Таким образом, измененное состояние объекта отличается от исходного значением только первого фактора — увеличилось финансирование вуза.

После завершения переходного процесса получим прогнозируемое состояние объекта со следующим значением $x_c = (9,2; 0,495; 2; x_{33}; 4; x_{67}; x_{75})^T$. Сравнив его с исходным состоянием, заметим, что изменились значения только двух факторов: прогнозируется повышение результативности научных исследований и изменение номинального фактора «Учебная продукция».

Для оценки точности прогнозирования применен описанный метод с числом «подобных» наблюдений $N_{\Pi} = 100$. В итоге получен вектор оценок меры точности прогнозирования значений факторов $T = (0; 0,10; 0,14; 0,09; 0,16; 0; 0,10)^T$. Нулевая ошибка по первому фактору

объясняется тем, что именно он в данном случае выступил в роли управляемого. Интересными представляются достаточно малые вероятности ошибок в прогнозах значений номинальных факторов, особенно x_6 , для которого эта ошибка оказалась равной нулю. Все оценки меры точности лежат в диапазоне значений от 0 до 16%.

Заключение

Вычислительные эксперименты позволили ещё раз подчеркнуть особенности предложенного в работе способа расчета прогноза реакции объекта на внешнее воздействие, определяющие область его применения.

Во-первых, способ не требует знания сил межфакторных связей и, следовательно, в некотором смысле, устойчив к неточности знаний экспертов об объекте. Во-вторых, он пригоден для работы при разных шкалах представления значений факторов. В третьих, позволяет не только рассчитать прогнозируемые значения факторов, но и дать оценки точности этих прогнозов. Для достижения этих преимуществ требуется собрать данные наблюдений на объекте и обеспечить их представительность.

Литература

1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998.
2. Busemeyer J., Diederich A. Cognitive Modeling. Los Angeles: Sage Publications, 2009.
3. Альбертин С.В. Когнитивное моделирование как способ научного познания и творчества // Гуманитарные научные исследования. 2016. № 8 [Электрон. ресурс] <http://human.snauka.ru/2016/08/16289> (дата обращения 08.02.2019).
4. Авдеева З.К. Теория и практика когнитивных карт // Лаборатория 51 ИПУ РАН [Электрон. ресурс] https://mipt.ipu.ru/sites/default/files/page_file/Авдеева.pdf (дата обращения 15.02.2019).
5. Радченко С.А. Когнитивное моделирование как средство поддержки принятия решений при управлении социально-экономической системой // Проблемы регионального управления, экономики и права и инновационных процессов в образовании: Труды III Меж-

References

1. Trakhtengerts E.A. Komp'yuternaya Podderzhka Prinyatiya Resheniy. M.: SINTEG, 1998. (in Russian).
2. Busemeyer J., Diederich A. Cognitive Modeling. Los Angeles: Sage Publications, 2009.
3. Al'bertin S.V. Kognitivnoe Modelirovanie kak Sposob Nauchnogo Poznaniya i Tvorchestva. Gumanitarnye Nauchnye Issledovaniya. 2016;8 [Elektron. Resurs] <http://human.snauka.ru/2016/08/16289> (Data Obrashcheniya 08.02.2019). (in Russian).
4. Avdeeva Z.K. Teoriya i Praktika Kognitivnykh Kart. Laboratoriya 51 IPU RAN [Elektron. Resurs] https://mipt.ipu.ru/sites/default/files/page_file/Avdeeva.pdf (Data Obrashcheniya 15.02.2019). (in Russian).
5. Radchenko S.A. Kognitivnoe Modelirovanie kak Sredstvo Podderzhki Prinyatiya Resheniy pri Upravlenii Sotsial'no-ekonomicheskoy Sistemoy. Problemy Regional'nogo Upravleniya, Ekonomiki i Prava i Innovatsionnykh Protsessov v Obrazovanii: Trudy III Mezhdunar.

дунар. науч.-практ. конф. Таганрог: Изд-во ТИУиЭ, 2003. С. 298—300.

6. **Башлыков А.А., Еремеев А.П.** Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике. М.: ИНФРА-М, 2017.

7. **Федулов Ю.Г., Юсов А.Б., Матвеев А.А.** Исследование социально-экономических и политических процессов с помощью когнитивных моделей. М: Изд-во РАГС, 2004.

8. **Федулов А.С., Борисов В.В.** Анализ нечетких реляционных когнитивных карт // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 7. С. 7—14.

9. **Таратухина Ю.В.** Деловые и межкультурные коммуникации. Структуризация посредством формальных когнитивных карт [Электрон. ресурс] https://studme.org/64361/menedzhment/strukturizatsiya_posredstvom_formalnyh_kognitivnyh_kart (дата обращения 14.02.2019).

10. **Максимов В.И., Корноушенко Е.К., Качаев С.В.** Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений // Информационное общество. 1999. Вып. 2. С. 50—54.

11. **Жилов Р.А.** К вопросу построения когнитивных карт для интеллектуальной обработки данных // Вестник КРАУНЦ Серия «Физико-математические науки». 2016. № 4—1 (16). С. 101—106.

12. **Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И.** Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // Управление большими системами. 2007. № 16. С. 26—39.

13. **Кулинич А.А.** Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы // Control Sci. 2010. № 3. С. 2—16.

14. **Жилов Р.А.** Применение нечетких когнитивных карт в системах принятия решений // Современные вопросы математической физики, математической биологии и информатики: Материалы Всеросс. науч. конф. молодых ученых. Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2014. С. 54—55.

15. **Максимов В.И.** Когнитивные технологии — от незнания к пониманию // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: Труды I Междунар. конф. М.: Изд-во ИПУ РАН, 2001. Т. 1. С. 4—41.

16. **Фомин Г.А.** Прогнозирование по когнитивной модели реакции объекта на внешние воздействия // Вестник МЭИ. 2018. № 5. С. 89—95.

17. **Кульба В.В., Миронов П.Б., Назаретов В.М.** Анализ устойчивости социально-экономических систем с использованием знаковых орграфов // Автоматика и телемеханика. 1993. № 7. С. 130—137.

18. **Салугин А.Н., Устиченко А.А.** Автономные импульсные процессы и устойчивость систем // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Серия «Политематическая». 2013. Вып. 3 (28). С. 1—6.

Nauch.-prakt. Konf. Taganrog: Izd-vo TIUIE, 2003: 298—300. (in Russian).

6. **Bashlykov A.A., Eremeev A.P.** Osnovy Konstruirovaniya Intellektual'nykh Sistem Podderzhki Prinyatiya Resheniy v Atomnoy Energetike. M.: INFRA-M, 2017. (in Russian).

7. **Fedulov Yu.G., Yusov A.B., Matveev A.A.** Issledovanie Sotsial'no-ekonomicheskikh i Politicheskikh Protssessov s Pomoshch'yu Kognitivnykh Modeley. M: Izd-vo RAGS, 2004. (in Russian).

8. **Fedulov A.S., Borisov V.V.** Analiz Nechetkikh Relyatsionnykh Kognitivnykh Kart. Neyrokomp'yutery: Razrabotka, Primenenie. 2016;7:7—14. (in Russian).

9. **Taratukhina Yu.V.** Delovye i Mezhkul'turnye Kommunikatsii. Strukturizatsiya Posredstvom Formal'nykh Kognitivnykh Kart [Elektron. Resurs] https://studme.org/64361/menedzhment/strukturizatsiya_posredstvom_formalnyh_kognitivnyh_kart (Data Obrashcheniya 14.02.2019). (in Russian).

10. **Maksimov V.I., Kornoushenko E.K., Kachaev S.V.** Kognitivnye Tekhnologii dlya Podderzhki Prinyatiya Upravlencheskikh Resheniy. Informatsionnoe Obshchestvo. 1999;2:50—54. (in Russian).

11. **Zhilov R.A.** K Voprosu Postroeniya Kognitivnykh Kart dlya Intellektual'noy Obrabotki Dannykh. Vestnik KRAUNTS Seriya «Fiziko-matematicheskie Nauki». 2016;4—1 (16):101—106. (in Russian).

12. **Avdeeva Z.K., Kovriga S.V., Makarenko D.I.** Kognitivnoe Modelirovanie dlya Resheniya Zadach Upravleniya Slabostrukturirovannymi Sistemami (Situatsiyami). Upravlenie Bol'shimi Sistemami. 2007;16:26—39. (in Russian).

13. **Kulinich A.A.** Komp'yuternye Sistemy Modelirovaniya Kognitivnykh Kart: Podkhody i Metody. Control Sci. 2010;3:2—16. (in Russian).

14. **Zhilov R.A.** Primenenie Nechetkikh Kognitivnykh Kart v Sistemakh Prinyatiya Resheniy. Sovremennyye Voprosy Matematicheskoy Fiziki, Matematicheskoy Biologii i Informatiki: Materialy Vseross. Nauch. Konf. Molodykh Uchenykh. Nal'chik: Izd-vo KBNTS RAN, 2014;54—55. (in Russian).

15. **Maksimov V.I.** Kognitivnye Tekhnologii — ot Neznaniya k Ponimaniyu. Kognitivnyy Analiz i Upravlenie Razvitiem Situatsiy: Trudy I Mezhdunar. Konf. M.: Izd-vo IPU RAN, 2001;1:4—41. (in Russian).

16. **Fomin G.A.** Prognozirovaniye po Kognitivnoy Modeli Reaktsii Ob'ekta Na Vneshnie Vozdeystviya. Vestnik MEI. 2018;5:89—95. (in Russian).

17. **Kul'ba V.V., Mironov P.B., Nazaretov V.M.** Analiz Ustoychivosti Sotsial'no-ekonomicheskikh Sistem s Ispol'zovaniem Znakovykh Orgrafov. Avtomatika i Telemekhanika. 1993;7:130—137. (in Russian).

18. **Salugin A.N., Ustichenko A.A.** Avtonomnye Impul'snye Protssesy i Ustoychivost' Sistem. Internet-vestnik VolgGASU. Seriya «Politematicheskaya». 2013; 3 (28):1—6. (in Russian).

19. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989.

20. Good P. Resampling Methods: a Practical Guide to Data Analysis. N.-Y: Springer, 2006.

21. Фомин Г.А., Фомина Е.С. Метод формирования имитационных данных по когнитивной модели объекта управления // Вестник МЭИ. 2018. № 1. С. 106—111.

19. Ayvazyan S.A., Bukhshtaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Prikladnaya Statistika: Klassifikatsiya i Snizhenie Razmernosti. M.: Finansy i Statistika, 1989. (in Russian).

20. Good P. Resampling Methods: a Practical Guide to Data Analysis. N.-Y: Springer, 2006.

21. Fomin G.A., Fomina E.S. Metod Formirovaniya Imitatsionnykh Dannyykh po Kognitivnoy Modeli Ob'ekta upravleniya. Vestnik MEI. 2018;1:106—111. (in Russian).

Сведения об авторах:

Фомин Геннадий Александрович — кандидат технических наук, профессор кафедры управления и интеллектуальных технологий НИУ «МЭИ», e-mail: FominGA@mpei.ru

Полотнов Михаил Михайлович — кандидат технических наук, доцент кафедры управления и интеллектуальных технологий НИУ «МЭИ», e-mail: mmpol_@mail.ru

Information about authors:

Fomin Gennadiy A. — Ph.D. (Techn.), Professor of Control and Intelligent Technologies Dept., NRU MPEI, e-mail: FominGA@mpei.ru

Polotnov Mikhail M. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Control and Intelligent Technologies Dept., NRU MPEI, e-mail: mmpol_@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 29.04.2019

The article received to the editor: 29.04.2019