

УДК 621.311

DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-121-127

Управление сложным объектом с использованием его когнитивной карты и данных наблюдений

Г.А. Фомин

Рассмотрен способ управления объектом с целью достижения заданных значений его целевых факторов. Указанный способ предполагает известную когнитивную карту объекта, составленную экспертами с использованием знаний и/или данных наблюдений на управляемом объекте. Подобные модели распространены при описании сложных объектов в задачах поддержки принятия управленческих решений. Проанализированы такие объекты, в графе когнитивной карты которых отсутствуют контуры. Предполагается, что в объекте управления действуют неконтролируемые случайные эффекты, неучтенные в когнитивной карте и влияющие на взаимодействие факторов. Также в составе когнитивной карты могут присутствовать факторы, значения которых представляются с использованием не только количественных, но и качественных шкал.

Для решения задачи предполагается наличие актуальной и представительной совокупности данных наблюдений всех факторов, включенных в когнитивную карту объекта управления, используемой для выбора наилучших значений управляемых факторов и оценки качества управления.

Предложена целевая функция, характеризующая степень близости значений целевых факторов объекта управления к их заданным значениям. Значения управляемых факторов рассчитаны на основе решения экстремальной задачи с использованием прогнозов значений целевых факторов по когнитивной карте. Оценка качества управления получена по той же совокупности наблюдений. Приведен пример решения задачи управления.

Ключевые слова: когнитивная карта, реакция объекта на управляющее воздействие, прогноз по модели, количественные и качественные шкалы факторов, критерий соответствия целевых факторов заданным значениям.

Для цитирования: Фомин Г.А. Управление сложным объектом с использованием его когнитивной карты и данных наблюдений // Вестник МЭИ. 2022. № 5. С. 121—127. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-121-127.

Control of a Complex Object Using Its Cognitive Map and Observation Data

G.A. Fomin

The article considers a method for control of an object to achieve the set values of its target indicators. It is assumed that the object cognitive map drawn by experts based on their expertise and/or observation data is known. Such models are extensively used in describing complex objects in the decision making support tasks.

Objects the cognitive map graph of which does not contain loops are analyzed. Supposedly, uncontrolled random effects that are not taken into account in the cognitive map and influencing the interaction of factors act in the controlled object. Also, the cognitive map may contain factors whose values are presented using not only quantitative, but also qualitative scales.

To solve the problem, it is assumed that there is an up-to-date and representative set of observation data on all factors incorporated into the controlled object cognitive map. This set is used to select the best values of controlled factors and to assess the control quality.

An objective function is proposed that characterizes how close the values of the controlled object target factors are to their specified values. The controlled factors values are calculated on the basis of solving an extremum problem using the target factor values predicted from the cognitive map. The control quality estimate is obtained from the same set of observations. An example of solving a control problem is given.

Key words: cognitive map, object's reaction to a control input, model-based prediction, quantitative and qualitative scales of factors, criterion for compliance of target factors with the specified values.

For citation: Fomin G.A. Control of a Complex Object Using Its Cognitive Map and Observation Data. Bulletin of MPEI. 2022;5: 121—127. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-121-127.

Задача управления объектом по когнитивной карте

Управление объектом с использованием прогнозов по его модели — один из распространенных способов достижения целей, преследуемых в отношении этого объекта. Поскольку для одного и того же объекта могут использоваться разные виды моделей, в каждом случае требуется выбрать способ их применения в процессе

управления. Качество управления существенным образом зависит как от применяемой модели, так и от способа ее использования.

Для описания объектов достаточно широкое распространение получили модели, представленные в форме когнитивных карт (КК) [1 — 7]. В них удачно соединилась неформальность человеческих представлений с формализацией описания объектов. Это позво-

лило строить модели на основе знаний специалистов, работающих с моделируемыми объектами. Особенно хорошие результаты получаются в тех случаях, когда при создании моделей используются данные наблюдений на объекте. Наиболее часто КК применяют для описания объектов и проблемных ситуаций в задачах поддержки принятия решений.

После создания модели необходимо выбрать способ ее применения в процессе управления. Он должен учитывать особенности модели. В публикациях по исследованиям объектов с использованием когнитивных карт чаще всего ограничиваются только созданием модели и не затрагивают вопросы ее последующего применения, что связано с представлениями о том, что такие модели предназначены не столько для управления объектами, сколько для их изучения, и для того, чтобы специалисты могли лучше разобраться в процессах, протекающих в объектах [9 — 12]. В настоящей работе предложен способ использования когнитивной карты в задаче управления.

Когнитивная карта — один из способов формального описания объекта. В ней представлен набор k некоторых факторов X_1, X_2, \dots, X_k , значения которых доступны для определения с использованием технических средств измерений или восприятия с помощью чувств человека. При этом значения измеряемых факторов, как правило, представлены в количественном виде, а воспринимаемых — чаще всего в виде качественных величин: ординальных или номинальных. В дальнейшем используем термин «измеренное значение фактора» вне зависимости от шкалы представления его значений и способа их получения.

Факторы отражают физические, информационные и иные процессы, протекающие в объекте. Поскольку процессы обычно взаимосвязаны, то связи проявляются в измеренных значениях факторов. В КК представлена совокупность из некоторого числа k факторов X_i , предполагаемых существенными для описания процессов в объекте управления и связи между этими факторами. КК отражает структуру причинно-следственных влияний в моделируемом объекте или ситуации [13]. Существует большое число видов КК, различающихся способами описания связей между факторами.

Предполагается, что все факторы в составе КК, по крайней мере, контролируемые. Для решения задачи управления хотя бы один из них должен быть управляемым. Разработанный способ управления направлен на определение наилучших в некотором смысле значений управляемых факторов. При этом предполагается, что за время расчета значений управляемых факторов и их реализации на объекте значения остальных контролируемых факторов существенно не меняются.

Факторы в КК имеют разные типы шкал, но их домены известны. Для количественных факторов известны диапазоны их возможных значений, для ординальных считается, что они представлены в нормали-

зованных ранговых шкалах, а для номинальных — все возможные значения полагаются известными.

В любом виде КК отражаются направления влияния одних факторов на другие, и только эта информация используется при расчете значений управляемых факторов. Кроме того, в КК указываются силы и знаки этого влияния. Обозначим $S(X_i, X_j)$ характеристику влияния фактора X_i на фактор X_j . При этом $S(X_i, X_j)$ принимает три возможных значения: «да» — если X_i влияет на X_j ; «нет» — если не оказывает и «неизвестно» — если о таком влиянии ничего нельзя сказать.

КК представим в виде графа или в виде таблицы. В графе в качестве концептов выступают контролируемые и управляемые факторы, а дуги являются направленными и указывают влияние одних факторов на другие. Табличное представление КК содержит $k \times k$ ячеек. Ячейка в строке i и в столбце v содержит значение характеристики влияния $S(X_i, X_v)$. При этом обычно не делают различий между отсутствием влияния и невыявленным влиянием и оставляют такую ячейку пустой.

Способы построения когнитивных карт достаточно хорошо изучены [13 — 17]. Пусть КК создана специалистами-экспертами, хорошо знающими объект и протекающие в нем процессы. Положим, что разработанная ими КК — адекватна и остается таковой на достаточно больших интервалах времени. Основанием для такого предположения служит простота КК, требующая лишь качественных представлений о процессах и связях между ними. Адекватность КК можно формально проверить при ее применении для прогнозирования значений целевых факторов.

Предположим, что в графе КК отсутствуют контуры или циклы. Это сделано для того, чтобы исключить возникновение колебательных процессов в системе.

В рамках постановки задачи в распоряжении экспертов имеется актуальная и представительная совокупность данных наблюдений. Каждое наблюдение состоит из значений всех факторов в составе КК, измеренных практически одновременно, причем считается, что значения согласованы и отражают установившееся состояние объекта в момент получения измерений. Представительность совокупности наблюдений означает, что в ней проявлены основные свойства объекта. В частности, в ней должны присутствовать всевозможные значения факторов с номинальной шкалой. С учетом важности данного предположения для обеспечения высокого качества управления возникает необходимость в проведении отдельного исследования для проверки его выполнения.

Разумеется, можно по этой совокупности рассчитать оценки сил связи между факторами [18], и тогда КК получит новое качество — по ней можно будет управлять объектом без использования наблюдений [19]. Однако, это не только создает значительную нагрузку на экспертов, но и за счет субъективных факторов приводит к дополнительным неточностям, которые

могут сильно повлиять на качество управления. Поэтому в настоящей работе совокупность наблюдений использована непосредственно при выборе управляющих воздействий.

Пусть известно распределение «ролей» факторов в объекте. При этом из X_i выделяется некоторое число n управляемых факторов, значения которых можно устанавливать произвольно в пределах некоторого известного домена — множества допустимых значений. Далее эти факторы имеют второе обозначение: U_1, U_2, \dots, U_n . Считаются известными m целевых факторов, значения которых зависят от управляемых факторов и считаются важными с точки зрения целей управления объектом. У целевых факторов также есть второе обозначение: Y_1, Y_2, \dots, Y_m .

Все факторы в составе КК считаются контролируруемыми. В соответствии с КК некоторые факторы — начальные (на них не влияют другие факторы в составе КК), а другие факторы — конечные (они не влияют ни на один фактор в составе КК). Остальные факторы — транзитные, переходные от начальных к конечным. Обычно управляемые факторы относят к начальным, а целевые — к конечным. Некоторые из начальных факторов не относятся к управляемым, но должны быть контролируемы, тогда будет считаться, что при выборе управляющих воздействий известны их значения в пределах некоторых доменов.

Качество управления существенным образом зависит от точности КК и представительности совокупности наблюдений, используемых при расчете прогнозов. Оба показателя субъективны: точность КК определяется полнотой знаний экспертов об объекте управления, а представительность совокупности наблюдений зависит от качества работы по сбору и подготовке этих данных к использованию в процессе управления.

Цель работы состоит в определении способа расчета таких значений управляемых факторов, которые обеспечивали бы прогнозируемые значения целевых факторов, в некотором смысле близкие к заранее заданным значениям целевых факторов Y_{ic} . В зависимости от шкал, в которых представлены значения целевых факторов, цель управления может быть определена вербально, как требование обеспечить значение Y_i близкое к Y_{ic} , или не меньше (не больше) Y_{ic} , или как можно большее (меньшее) значение. Так, для целевого фактора Y_i с номинальной шкалой используется только «равное заданному значению Y_{ic} », поскольку понятия больше и меньше для них не определены. В некоторых случаях в их отношении цель формулируется в виде логического выражения, например, «как равная заданному значению Y_{ic} или Y_{ic} ». Для целевого фактора с количественной или ординальной шкалами чаще используют наибольшее (наименьшее) значение. В этом случае можно считать, что Y_{ic} равно Y_{\min} или Y_{\max} , где Y_{\min} и Y_{\max} — граничные значения домена значений указанных факторов.

Способ расчета значений управляемых факторов

Пусть определены заданные значения целевых факторов $Y_c = \{Y_{1c}, Y_{2c}, \dots, Y_{mc}\}$ и, тем самым, задана цель управления. Предположим, что каким-то образом выбраны значения управляемых факторов: $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$. Считаем известными значения всех контролируемых факторов в начальном состоянии объекта: $X_n = \{X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{kn}\}$. Тогда, используя метод определения реакции объекта на внешнее воздействие по КК и совокупности наблюдений [19], рассчитаем ожидаемые значения целевых факторов $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$. В этом методе расчет проходит последовательно, начиная от управляемых факторов, с использованием «ближайших соседей» из совокупности наблюдений и с учетом направлений межфакторных связей, представленных в КК.

Зададим критерий соответствия этих значений целевых факторов желаемым значениям: $Q(Y|Y_c, U, X_n)$. Для определенности считаем, что наилучшему сочетанию значений целевых факторов соответствует наименьшее значение критерия, рассчитываемого как:

$$Q(Y|Y_c, U, X_n) = \frac{\sum_{i=1}^m b_i G(Y_i | Y_{ic}, U, X_n)}{\sum_{i=1}^m b_i}, \quad (1)$$

где b_i — положительные весовые коэффициенты, выбираемые экспертами и определяющие приоритетность целевых факторов.

Для количественных или ординальных факторов

$$G(Y_i | Y_{ic}, U, X_n) = |Y_i - Y_{ic}|,$$

а для номинальных — $G(Y_i | Y_{ic}, U, X_n) = 0$ при $Y_i = Y_{ic}$ и 1 — в остальных случаях.

Если есть три целевых фактора Y_1 — Y_3 с количественной, ординальной и номинальной шкалами, то такой критерий можно представить в виде суммы

$$Q(Y|Y_c, U, X_n) = \frac{[b_1 |Y_1 - Y_{1c}| + b_2 |Y_2 - Y_{2c}| + b_3 G(Y_3, Y_{3c})]}{(b_1 + b_2 + b_3)},$$

где Y_1, Y_2, Y_3 — значения целевых факторов, прогнозируемые по КК в качестве реакции на управление U .

Поскольку в этом случае весовые коэффициенты оказываются размерными, обоснованный выбор их значений — трудная задача. Для преодоления этой проблемы нормируем количественные и ординальные факторы, поделив их значения на разность наибольшего и наименьшего значений в их домене. После этого они становятся безразмерными и приведенными к диапазону значений от 0 до 1. Номинальные факторы не требуют преобразования, поскольку функция $G(\cdot)$ дает значения либо 0, либо 1. Следовательно, весовые коэффициенты задаются экспертами в виде безразмерных

положительных величин с учетом того, что больший коэффициент означает более высокую значимость соответствующего целевого фактора. При этом диапазон возможных значений функции $Q(\mathbf{Y}|\mathbf{Y}_c, \mathbf{U}, \mathbf{X}_n)$ ограничен 0 и 1, значение 0 получается только при прогнозируемом точном достижении заданных значений целевых факторов.

Теперь для решения задачи осталось только применить некоторый способ поиска значения \mathbf{U}_o , доставляющего минимум функции $Q(\mathbf{Y}|\mathbf{Y}_c, \mathbf{U}_o, \mathbf{X}_n)$ по значениям \mathbf{U} в области, определяемой доменами управляемых факторов.

Оценка качества управления по когнитивной карте

Поскольку в объекте управления действуют неконтролируемые факторы, нельзя гарантировать достижение заданных значений целевых факторов при использовании рассчитанных значений \mathbf{U}_o . Поэтому необходимо получить оценку точности решения задачи с помощью предлагаемого метода.

Одна из таких оценок — значение $Q(\mathbf{Y}|\mathbf{Y}_c, \mathbf{U}_o, \mathbf{X}_n)$. Однако, минимально возможное значение функции $Q(\mathbf{Y}|\mathbf{Y}_c, \mathbf{U}, \mathbf{X}_n)$, равное 0, в большинстве практических задач недостижимо, а интерпретировать значения, отличные от 0, затруднительно.

Для получения другой оценки качества управления применим способ «складного ножа», использованный в [20] для оценки точности прогноза по КК. Выполним следующие операции.

1. Уберем из располагаемой совокупности наблюдение с номером r : $\mathbf{X}_r = \{X_{1r}, X_{2r}, \dots, X_{kr}\}$. Выделим из этого наблюдения управляемые $\mathbf{U}_r = \{U_{1r}, U_{2r}, \dots, U_{nr}\}$ и целевые $\mathbf{Y}_r = \{Y_{1r}, Y_{2r}, \dots, Y_{mr}\}$ факторы. Предположим, что значения целевых факторов здесь такие, какие хотели получить в этом наблюдении, а значения управляемых факторов именно их обеспечили.

2. Считая, что $\mathbf{Y}_r = \mathbf{Y}_c$ с использованием оставшихся наблюдений решим оптимизационную задачу и установим вектор значений управляемых факторов \mathbf{U}_{ro} , обеспечивающий минимальное значение критерия $Q(\mathbf{Y}|\mathbf{Y}_c, \mathbf{U}, \mathbf{X}_n)$. Таким образом, найдем значения управляемых факторов \mathbf{U}_{ro} , которые даст предлагаемый способ расчета управляющих воздействий.

3. Операции 1 и 2 повторим с каждым из N наблюдений. В итоге получим N пар $\{\mathbf{U}_r, \mathbf{U}_{ro}\}$, $r = 1, 2, \dots, N$.

4. Рассчитаем оценку качества управления в виде некоторой меры различия векторов \mathbf{U}_r и \mathbf{U}_{ro} . Например, можно использовать средневзвешенную меру:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n R(U_{ji}, U_{jio})}{nN}$$

где $R(U_{ji}, U_{jio})$ — мера отклонения для значений управляемого фактора U_j .

С учетом выполненной нормировки факторов можно применять меры отклонения, аналогичные использованным в (1).

Для количественных и ординальных факторов:

$$R_{ji}(U_{ji}, U_{jio}) = |U_{ji} - U_{jio}|$$

Для номинальных факторов $R_{ji}(U_{ji}, U_{jio})$ равна 0 только при $U_{ji} = U_{jio}$ и 1 — в остальных случаях.

Очевидно, что при таком задании мера W имеет минимально возможное значение, равное 0, достигаемое при точном совпадении всех векторов \mathbf{U}_r и \mathbf{U}_{ro} . Максимально возможное значение меры W равно 1. Это позволяет выработать суждение о качестве управления по рассчитанным значениям W . Например, при $W < 0,2$ — качество хорошее, при $0,2 < W < 0,4$ — среднее, $W > 0,4$ — низкое.

Пример решения задачи

Рассмотрим когнитивную карту объекта управления, изображенную в виде графа на рис. 1. Она выбрана так, чтобы в ней присутствовали факторы с разными типами шкал представления их значений.

Из этой КК следует, что объект характеризуется 10-ю факторами, из которых три фактора являются начальными (U_1, U_2, X_3), три фактора — конечными (Y_8, Y_9, Y_{10}) и четыре фактора — транзитными. Из числа начальных два фактора — управляемые (U_1, U_2). С использованием количественных шкал определим значения пяти факторов: U_2, X_4, X_6, X_7, Y_8 . Значения факторов U_1, X_5, Y_9 представим с использованием ординальной, а факторов X_3 и Y_{10} — номинальной шкал. Между факторами в КК имеется 11 связей.

Как следует из этого графа, с помощью ординального фактора U_1 с 7-ю рангами можно влиять на целевые факторы Y_8, Y_9 , а с помощью количественного фактора U_2 — на Y_9, Y_{10} . Для определения управляющих воздействий есть совокупность из 200 наблюдений, полученных путем имитационного моделирования [20].

Для изучения вида функции (1) выполнено сканирование пространства изменения управляемых фак-

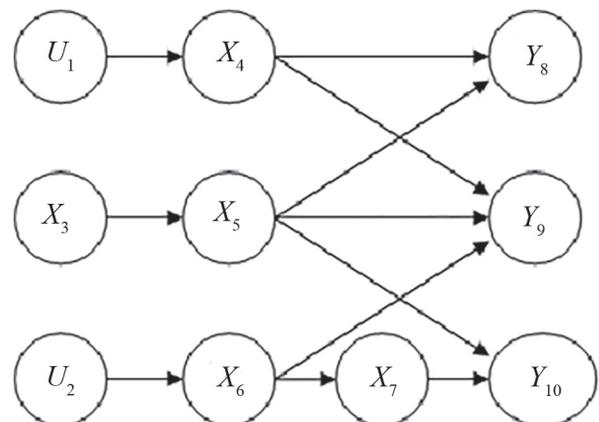


Рис. 1. Когнитивный граф объекта управления

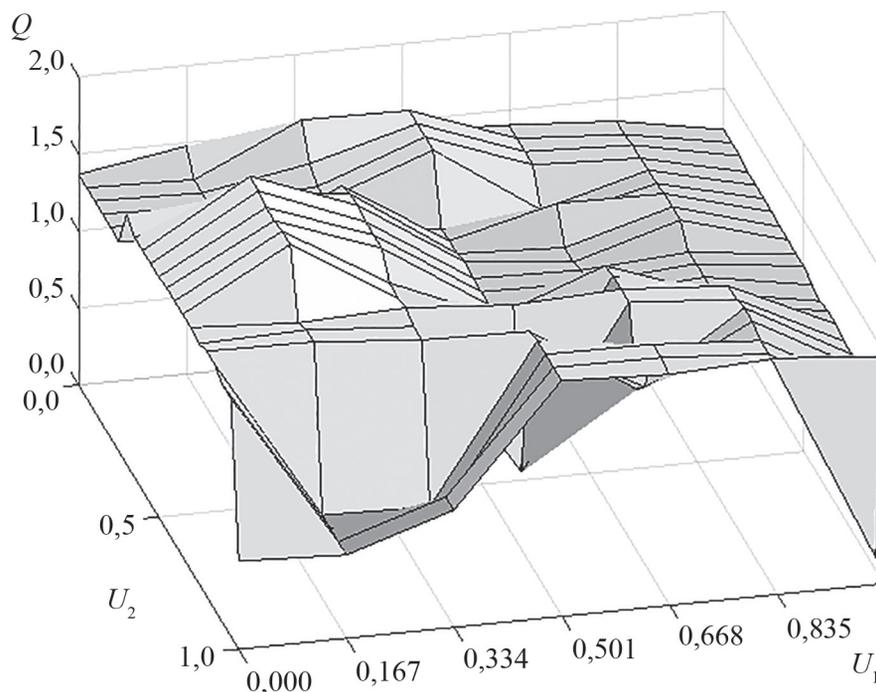


Рис. 2. Вид функции $Q(Y|Y_c, U, X_3)$ при заданном наборе значений целевых факторов Y_c

торов U_1 и U_2 с расчетом оценок значений факторов Y_8, Y_9, Y_{10} методом ближайших соседей по наблюдениям и с определением значения целевой функции $Q(Y|Y_c, U, X_3)$. Эти значения усредняли по значениям начального фактора X_3 , представленным в совокупности наблюдений. На рисунке 2 дан пример вида этой функции при одном наборе значений целевых факторов.

Наименьшее значение $Q(Y|Y_c, U_0, X_0) = 0,082$ достигнуто при значениях $U_{10} = 1, U_{20} = 0,95$.

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что у функции $Q(Y|Y_c, U, X_3)$ достаточно сложный вид, затрудняющий применение традиционных методов поиска экстремума. Здесь может иметься значительное число локальных экстремумов, а также «оврагов» и «площадок». Данный вид заметно меняется в зависимости от заданных значений целевых факторов. Тем не менее, при небольшом числе управляемых факторов нахождение минимума возможно путем простого

перебора значений по сетке в пространстве возможных значений управляемых факторов. Однако, при увеличении числа управляемых факторов и повышении требований к точности определения положения экстремума, время расчетов может стать весьма большим. В то время, как для количественных управляемых факторов дискретизацию в сетке можно задать достаточно произвольно, для ординальных и номинальных факторов она вынужденно определяется числом возможных значений в их шкалах, и это число может быть достаточно велико. Это ведет к большому числу комбинаций значений управляемых факторов, при которых требуется решать задачу расчета прогнозируемых целевых значений при поиске управляющего воздействия.

Разработанный способ управления объектом по его когнитивной карте базируется на ранее предложенном способе прогнозирования реакции объекта на внешнее воздействие. Вычислительные эксперименты подтвердили возможность его применения в задачах рассмотренного класса.

Литература

1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: Синтег, 1998.
2. Busemeyer J., Diederich A. Cognitive Modeling. Los Angeles: Sage Publ., 2009.
3. Альбертин С.В. Когнитивное моделирование как способ научного познания и творчества // Гуманитарные научные исследования. 2016. № 8. С. 220—228.
4. Радченко С.А. Когнитивное моделирование как средство поддержки принятия решений при управле-

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 Publ., 2009.
3. Al'bertin S.V. Kognitivnoye Modelirovaniye kak Spособ Nauchnogo Poznaniya i Tvorchestva. Gumanitarnyye Nauchnyye Issledovaniya. 2016;8:220—228. (in Russian).
4. Radchenko S.A. Kognitivnoye Modelirovaniye kak Sredstvo Podderzhki Prinyatiya Resheniy pri Upravlenii

нии социально-экономической системой // Проблемы регионального управления, экономики и права и инновационных процессов в образовании: Труды III Междунар. науч.-практ. конф. Таганрог: Изд-во ТИУиЭ, 2003. С. 298—300.

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

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

7. **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.

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

9. **Таратухина Ю.В., Авдеева З.К.** Деловые и межкультурные коммуникации. М.: Юрайт, 2019.

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

11. **Борисов В.В., Денисенков М.А., Федулов А.С.** Нечеткие ситуационные сети на основе когнитивных карт // Естественные и технические науки. 2016. № 2(92). С. 118—123.

12. **Borisov V., Stefantsov A., Gasho E., Postelnik M., Bobryakov A.** Research into the Sustainable Development Problem of Urban Electric Power Systems on the Basis of Cognitive Modeling Technology // Intern. J. Appl. Eng. Research. 2016. V. 11. No. 24. Pp. 11826—11831

13. **Авдеева З.К.** Теория и практика когнитивных карт [Электрон. ресурс] https://mipt.ipu.ru/sites/default/files/page_file/Авдеева.pdf (дата обращения 15.02.2019).

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

15. **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.

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

17. **Борисов В.В., Федулов А.С., Федулов Я.А.** «Совместимые» нечеткие когнитивные модели: прямые и обратные задачи // Нечеткие системы и мягкие вычисления. 2016. № 2(11). С. 103—114.

Sotsial'no-Ekonomicheskoy Sistemoy. Problemy Regional'nogo Upravleniya, Ekonomiki i Prava i Innovatsionnykh Protsessov v Obrazovanii: Trudy III Mezhdunar. Nauch.-prakt. Konf. Taganrog: Izd-vo TIUie, 2003: 298—300. (in Russian).

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

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

7. **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).

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

9. **Taratukhina Yu.V., Avdeeva Z.K.** Delovye i Mezhkul'turnye Kommunikatsii. M.: YUrayt, 2019. (in Russian).

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

11. **Borisov V.V., Denisenkov M.A., Fedulov A.S.** Nchetkie Situatsionnye Seti na Osnove Kognitivnykh Kart. Estestvennye i Tekhnicheskie Nauki. 2016;2(92): 118—123. (in Russian).

12. **Borisov V., Stefantsov A., Gasho E., Postelnik M., Bobryakov A.** Research into the Sustainable Development Problem of Urban Electric Power Systems on the Basis of Cognitive Modeling Technology. Intern. J. Appl. Eng. Research. 2016;11;24:11826—11831

13. **Avdeeva Z.K.** Teoriya i Praktika Kognitivnykh Kart [Elektron. Resurs] https://mipt.ipu.ru/sites/default/files/page_file/Avdeeva.pdf (Data Obrashcheniya 15.02.2019). (in Russian).

14. **Fedulov A.S., Borisov V.V.** Analiz Nchetkikh Relyatsionnykh Kognitivnykh Kart. Neyrokompyutery: Razrabotka, Primenenie. 2016;7:7—14. (in Russian).

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

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

17. **Borisov V.V., Fedulov A.S., Fedulov Ya.A.** «Sovmestimye» Nchetkie Kognitivnye Modeli: Pryamye i Obratnye Zadachi. Nchetkie Sistemy i Myagkie Vychisleniya. 2016;2(11):103—114. (in Russian).

18. Лобанов В.Ю., Фомин Г.А., Фомина Е.С. Методы анализа связей между разнородными факторами в объекте управления // Информационные средства и технологии: Труды XVII Междунар. науч.-тех. конф. Т. 3. М.: Издат. дом МЭИ, 2009. С. 205—211.

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

20. 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.

18. Lobanov V.Yu., Fomin G.A., Fomina E.S. Metody Analiza Svyazey Mezhdru Raznorodnymi Faktorami V Ob'ekte Upravleniya. Informatsionnye Sredstva i Tekhnologii: Trudy XVII Mezhdunar. Nauch.-tekh. Konf. T. 3. M.: Izdat. Dom MEI, 2009:205—211. (in Russian).

19. Fomin G.A. Prognozirovanie po Kognitivnoy Modeli Reaktsii Ob'ekta na Vneshnie Vozdeystviya. Vestnik MEI. 2018;5:89—95. (in Russian).

20. Fomin G.A., Polotnov M.M. Metod Rascheta s Ispol'zovaniem Kognitivnoy Karty i Danykh Nablyudeniye Reaktsii Ob'ekta Upravleniya na Vneshnee Vozdeystvie. Vestnik MEI. 2020;2:113—119. (in Russian).

Сведения об авторе:

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

Information about author:

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

Статья поступила в редакцию: 10.02.2022

The article received to the editor: 10.02.2022