

Поддержка принятия решений при управлении качеством образования на основе нечеткого когнитивного моделирования

Б.Г. Ильясов

Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
e-mail: ilyasov@tc.ugatu.ac.ru

Е.Ш. Закиева

Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
e-mail: zakievae@mail.ru

Э.Р. Габдуллина

Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
e-mail: gabdullina_er@mail.ru

А.Э. Махмутова

Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
e-mail: adel.mahmutova@yandex.ru

Аннотация¹

Рассматриваются вопросы анализа и управления качеством образования на основе нечеткого когнитивного моделирования. Приведена процедура построения нечеткой когнитивной карты. Рассмотрен алгоритм определения когнитивной матрицы взаимовлияний. Рассчитаны системные показатели нечеткой когнитивной карты. Определены концепты, оказывающие наиболее сильное влияние на систему, а также концепты, наиболее сильно подверженные воздействию со стороны системы.

1. Введение

Повышение качества образования является приоритетным направлением государственной политики России, продекларированным в государственной программе Российской Федерации «Развитие образования» на 2013–2020 гг. [1]. Качество образования является одним из важнейших показателей качества жизни, при этом считается, что высокое качество образования способствует более высокому качеству жизни [2]. Однако, соотношение между качеством жизни и качеством образования в

различных странах неодинаково и между этими категориями не существует универсальной зависимости. Прямая зависимость между качеством образования и качеством жизни характерна только для стран с инновационными экономиками, в которых человеческий капитал является главным фактором развития экономики. В странах же с сырьевой экономикой качество образования не оказывает существенного влияния на качество жизни, а в слаборазвитых странах улучшение качества образования может привести даже к его ухудшению, что связано с отсутствием возможности применения полученных знаний в профессиональной деятельности. В России высокий уровень образования не гарантирует высокого качества жизни вследствие слабой развитости инновационных отраслей экономики. Решение данной проблемы возможно только путем создания необходимых условий для развития высокотехнологичных отраслей промышленности. В статье рассматриваются вопросы анализа и управления качеством образования на основе применения нечеткой когнитивной карты (НКК) как одного из инструментов моделирования, прогнозирования и поддержки принятия решений при управлении слабоформализуемыми процессами. Использование нечетких когнитивных карт в качестве средства моделирования различных проблем и ситуаций обусловлено возможностью наглядного представления анализируемой системы и сравнительно легкой интерпретацией причинно-следственных связей между концептами [3]. Неоспоримыми достоинствами НКК по сравнению с

Труды Шестой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-31 мая, Уфа-Ставрополь, Россия, 2018

другими методами являются возможность формализации численно неизмеримых факторов, использования неполной, нечеткой и даже противоречивой информации [4].

2. Построение нечеткой когнитивной карты для анализа и управления качеством образования

Процедура построения нечеткой когнитивной карты включает три этапа.

На первом этапе проводится сбор статистических данных и формируется множество показателей. Для оценки качества образования могут применяться как объективные, так и субъективные показатели [5]. По причине недостаточности данных по оценке населением качества образования по регионам РФ (субъективных показателей), проведен анализ только объективных показателей, характеризующих качество образования по регионам РФ за 2015/2016 годы. Анализ выполнен на основе данных, предоставляемых Федеральной службой государственной статистики [6] и Единой межведомственной информационно-статистической системой по регионам РФ [7].

На втором этапе выполняется структуризация показателей и формируются множества управляющих, промежуточных и целевых концептов. Выделены и рассмотрены следующие ступени системы образования: общее, среднее профессиональное, высшее, аспирантура, а также дополнительное образование детей и взрослых. В результате анализа большого количества показателей выделены три группы концептов.

В первую группу объединены показатели, характеризующие объемы финансирования образовательных организаций основных ступеней образования: общего, среднего профессионального, высшего. Это следующие показатели: X_1 – «Общий объем финансирования всех образовательных организаций, реализующих программы общего образования, тыс. руб./чел.»; X_2 – «Объем финансирования образовательных организаций высшего образования, тыс. руб./чел.»; X_3 – «Объем поступивших средств в среднее профессиональное образование, тыс. руб./чел.». Данная группа концептов выступает в роли управляющих воздействий, направленных на повышение качества образования.

Вторую группу составляют показатели, характеризующие охват населения различными образовательными программами. Это такие показатели, как P_1 – «Охват детей начальным общим, основным общим и средним общим образованием (7–17 лет)»; P_2 – «Охват молодежи образовательными программами среднего профессионального образования – программами подготовки квалифицированных рабочих, служащих (15–17 лет)»; P_3 – «Охват молодежи образовательными

программами среднего профессионального образования – программами подготовки специалистов среднего звена (15–19 лет)»; P_4 – «Охват молодежи образовательными программами высшего образования (17–25 лет)»; P_5 – «Численность аспирантов на 100 студентов»; P_6 – «Охват детей в возрасте от 5 до 18 лет программами дополнительного образования»; P_7 – «Численность лиц, обученных в организации по дополнительным профессиональным программам на 10000 человек населения»; P_8 – «Численность лиц, обученных в организации по программам повышения квалификации на 10000 человек населения»; P_9 – «Численность лиц, обученных в организациях по программам профессиональной переподготовки на 10000 человек населения». Данные концепты являются внутренними (промежуточными) параметрами, характеризующими качество образования.

В третью группу объединены целевые показатели качества образования. Это такие показатели, как Y_1 – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе бакалавриата»; Y_2 – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе высшего образования – специалитет, магистратура»; Y_3 – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе среднего профессионального образования (подготовка квалифицированных рабочих, служащих)»; Y_4 – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе среднего профессионального образования (подготовка специалистов среднего звена)»; Y_5 – «Удельный вес численности занятого населения в возрасте 25–65 лет, прошедшего повышение квалификации и (или) профессиональную подготовку»; Y_6 – «Удельный вес сектора учреждений высшего образования во внутренних затратах на исследование и разработки». Следует отметить, что все показатели приведены к относительному виду, т. е. для первой группы показателей рассчитаны объемы финансирования, приходящиеся на душу населения, по второй группе показателей проведен расчет согласно методике, приведённой в [8]. Для третьей группы показателей расчеты не проводились, т.к. данные были представлены в относительном виде.

На третьем этапе проводится корреляционно-регрессионный анализ для определения причинно-следственных связей между концептами и выполняется экспертное оценивание полученной НКК. На основе проведенного корреляционно-регрессионного анализа и экспертных оценок построена нечеткая когнитивная карта для анализа и управления качеством образования (рис. 1).

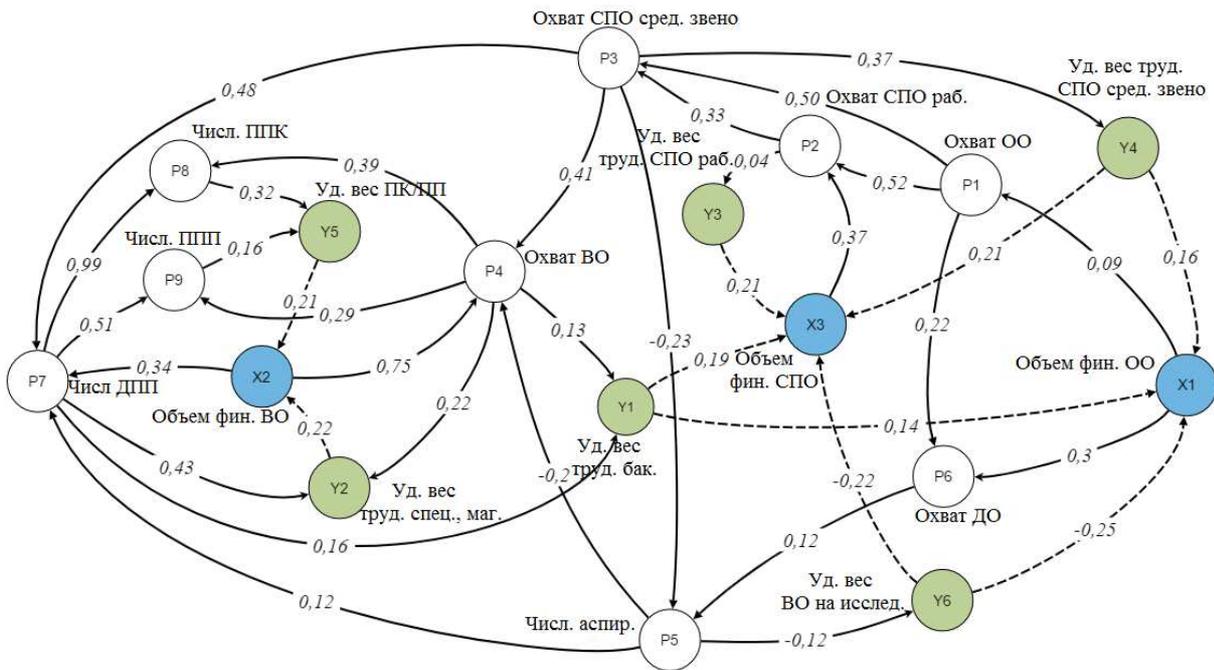


Рис. 1. Нечеткая когнитивная карта для анализа и управления качеством образования

3. Анализ нечеткой когнитивной карты

В отличие от простых когнитивных карт, направленные ребра графа НКК отражают не только причинно-следственные связи между концептами, но и позволяют различать интенсивность взаимовлияния между ними в определенном диапазоне действительных чисел $[-1, 1]$.

Впервые нечеткие когнитивные карты были предложены Б.Коско [9]. Затем появились различные модификации нечетких когнитивных карт для моделирования сложных систем. Наиболее понятными для экспертов являются НКК, предложенные В.Б. Силовым [10]. Особенности данных карт являются, во-первых, то, что отношения между концептами нечеткой когнитивной карты рассматриваются как элементы нечеткой матрицы смежности для графа НКК, во-вторых, проблема обработки отрицательных влияний решается путем удвоения мощности множества концептов и их раздельной обработки, в-третьих, нечеткие значения выходных концептов получаются с использованием характерных для нечеткой логики операций T - и S -норм над нечеткими значениями входных концептов и весов влияния.

Нечеткие когнитивные карты Силова основаны на формализованном представлении системы в виде причинно-следственной сети:

$$G = (K, W),$$

где K – множество концептов; W – множество связей. Элементы $w_{ij} \in [-1, 1]$ нечеткого отношения W

характеризуют направление и степень интенсивности (вес) влияния между концептами K_i и K_j :

$$w_{ij} = W(K_i, K_j).$$

Фрагмент нечеткой матрицы смежности $W = [w_{ij}]_{n \times n}$ размерностью (6x6) для построенной НКК, содержащей веса прямых, т.е. непосредственно существующих в представлении экспертов, связей между концептами (факторами), приведен в таблице 1 (полная матрица смежности имеет размерность 18x18).

Таблица 1

	X1	X2	X3	P1	P2	P3
X1	0	0	0	0,09	0	0
X2	0	0	0	0	0	0
X3	0	0	0	0	0,37	0
P1	0	0	0	0	0,52	0,5
P2	0	0	0	0	0	0,33
P3	0	0	0	0	0	0

Отметим, что в логическом аспекте положительные связи типа «А является причиной В» рассматриваются как «А имплицирует В», т. е. $A \Rightarrow B$ и $\bar{A} \Rightarrow \bar{B}$, отрицательные связи представляются как $\bar{A} \Rightarrow B$ и $A \Rightarrow \bar{B}$ [8]:

$$A \xrightarrow{(+)} B \begin{cases} A \Rightarrow B; \\ \bar{A} \Rightarrow \bar{B}, \end{cases} \quad A \xrightarrow{(-)} B \begin{cases} A \Rightarrow \bar{B}; \\ \bar{A} \Rightarrow B, \end{cases} \quad (1)$$

Для решения задач когнитивного моделирования вводится каузальная алгебра, в основе которой лежат макстриангулярные операции с нечеткими матрицами [10]. Данный математический аппарат используется для определения взаимовлияния концептов. Алгоритм определения когнитивной матрицы взаимовлияний приведен в работе [10].

Рассмотрим данный алгоритм применительно к построенной НКК для анализа и управления качеством образования.

На первом шаге алгоритма с использованием преобразования (1), строится матрица положительных связей R размерностью $2n \times 2n$. Элементы r_{kq} матрицы $R=[r_{kq}]$ определяются из матрицы $W=[w_{ij}]_{n \times n}$ путем следующей замены:

$$\begin{aligned} \text{если } w_{ij} > 0, \text{ то } r_{2i-1,2j-1} &= w_{ij}, r_{2i,2j} = w_{ij}, \\ \text{если } w_{ij} < 0, \text{ то } r_{2i-1,2j} &= -w_{ij}, r_{2i,2j-1} = -w_{ij}. \end{aligned} \quad (2)$$

Остальные элементы принимают нулевое значение.

Фрагмент «двойной» матрицы размерностью 12×12 , соответствующей исходной когнитивной матрице приведен в таблице 2 (полная «двойная» матрица имеет размерность 36×36).

На втором шаге строится матрица взаимовлияния концептов как транзитивное замыкание по общей формуле:

Третий шаг. В результате транзитивного замыкания и согласно (2) в матрице R существуют двойные связи. Для математического анализа эти связи необходимо представить положительно-отрицательной парой (v_{ij}, \bar{v}_{ij}) :

$$\begin{aligned} v_{ij} &= \max(r_{2i-1,2j-1}, r_{2i,2j}), \\ \bar{v}_{ij} &= -\max(r_{2i-1,2j}, r_{2i,2j-1}). \end{aligned}$$

Таблица 2

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,37	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,37	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0,52	0	0,5	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,52	0	0,5
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

В результате получим матрицу взаимовлияний, состоящую из положительно-отрицательных пар элементов, характеризующих максимальные положительные и отрицательные причинно-следственные пути между всеми концептами.

В табл. 3 приведен фрагмент замкнутой матрицы размерностью 7×5 (полная замкнутая матрица имеет размерность 18×18).

Элементы матрицы $V=[(v_{ij}, \bar{v}_{ij})]$ могут использоваться как «справочные» показатели по динамике достижения отдельно одной или нескольких целей. Например, рассмотрим связь между концептами P_1 «Охват детей начальным общим, основным общим и средним общим образованием» и P_2 «Охват молодежи образовательными программами среднего профессионального образования - программами подготовки квалифицированных рабочих, служащих» (0,520; -0,001). Концепт P_1 усиливает концепт P_2 , это означает, что после окончания школы многие продолжают учебу по образовательным программам среднего профессионального образования подготовки квалифицированных рабочих и служащих.

$$\check{R} = \bigvee_{l=1}^{\infty} R^l.$$

На основе замкнутой матрицы рассчитываются системные показатели когнитивной карты: консонанс, диссонанс и воздействие или влияние концептов. Формулы расчета данных показателей приведены в [10]. Для построенной НКК рассчитаны интегральные показатели консонанса (диссонанса) влияния системы на концепт, консонанса (диссонанса) влияния концепта на систему, а также показатели, нормированные к сумме всего консонанса (диссонанса) системы (табл. 4).

Таблица 3

N	X1		X2		X3		P1		P2	
X1	0,004	0,000	0,004	0,000	0,005	0,000	0,090	0,000	0,047	0,000
X2	0,021	0,000	0,068	0,000	0,029	0,000	0,002	0,000	0,011	0,000
X3	0,007	-0,001	0,008	0,000	0,009	-0,001	0,001	0,000	0,370	0,000
P1	0,030	-0,003	0,040	-0,002	0,043	-0,003	0,003	0,000	0,520	-0,001
P2	0,020	-0,002	0,022	-0,001	0,026	-0,002	0,002	0,000	0,009	-0,001
P3	0,059	-0,007	0,065	-0,003	0,078	-0,006	0,005	-0,001	0,029	-0,002
P4	0,018	0,000	0,048	0,000	0,025	0,000	0,002	0,000	0,009	0,000

Таблица 4

Название концептов	Консонанс влияния системы на концепт	Диссонанс влияния системы на концепт	Консонанс влияния концепта на систему	Диссонанс влияния концепта на систему	Влияние системы на концепт	Влияние концепта на систему
X1	0,90	0,10	0,83	0,17	0,02	0,04
X2	0,85	0,15	0,90	0,10	0,05	0,17
X3	0,92	0,08	0,92	0,08	0,04	0,05
P1	0,92	0,08	0,89	0,11	0,01	0,15
P2	0,95	0,05	0,91	0,09	0,06	0,08
P3	0,96	0,04	0,90	0,10	0,06	0,17
P4	0,92	0,08	0,90	0,10	0,10	0,08
P5	0,42	0,58	0,52	0,48	-0,02	0,01
P6	0,93	0,07	0,58	0,42	0,03	0,01
P7	0,94	0,06	0,90	0,10	0,09	0,15
P8	0,87	0,13	0,90	0,10	0,21	0,03
P9	0,85	0,15	0,90	0,10	0,12	0,02
Y1	0,86	0,14	0,86	0,14	0,04	0,03
Y2	0,85	0,15	0,90	0,10	0,10	0,05
Y3	0,95	0,05	0,93	0,07	0,00	0,02
Y4	0,97	0,03	0,86	0,14	0,04	0,04
Y5	0,86	0,14	0,90	0,10	0,11	0,05
Y6	0,47	0,53	0,84	0,16	0,00	-0,05

Расчет системных показателей построенной когнитивной карты выявил высокий уровень консонанса. Проведенный анализ нормированных показателей позволил определить концепты, оказывающие наиболее сильное влияние на систему. Так, на качество образования наиболее сильное влияние среди всех концептов оказывают следующие концепты: X_2 – «Объем финансирования образовательных организаций высшего образования, тыс. руб./чел.» и P_3 – «Охват молодежи

образовательными программами среднего профессионального образования – программами подготовки специалистов среднего звена (15–19 лет)» (0,17). Дальнейший анализ выявил концепты, изменение которых очень мало влияет на качество образования. Это такие концепты, как P_5 – «Численность аспирантов на 100 студентов»; P_6 – «Охват детей в возрасте от 5 до 18 лет программами дополнительного образования», что свидетельствует о малой численности аспирантов и низком охвате

детей дополнительным образованием. Особые опасения вызывает отрицательное влияние концепта Y_6 – «Удельный вес сектора учреждений высшего образования во внутренних затратах на исследования и разработки» на качество образования (-0,05). Это свидетельствует о низком уровне коммерциализации исследований и разработок как фактора инновационного развития экономики, что снижает качество образования в целом.

Анализ нормированных системных показателей позволил также определить концепты, наиболее сильно подверженные воздействию со стороны системы. Так, например, качество образования оказывает наиболее сильное влияние на концепты P_8 – «Численность лиц, обученных в организации по программам повышения квалификации на 10000 человек населения» (0,21) и P_9 – «Численность лиц, обученных в организациях по программам профессиональной переподготовки на 10000 человек населения» (0,12), что свидетельствует об актуальности повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров; а отрицательное влияние концепта P_5 – «Численность аспирантов на 100 студентов» (-0,02) обнаруживает проблему малого количества аспирантов.

В целом, наиболее сбалансированными являются концепты X_3 – «Объем поступивших средств в среднее профессиональное образование, тыс. руб./чел.» и Y_1 – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе бакалавриата», т. к. они усиливают систему в такой же степени, как и она их.

Дальнейшие исследования будут связаны с применением алгоритма поиска в НКК максимально положительного и отрицательного пути или максимального консонанса (диссонанса) между двумя концептами с целью поддержки принятия решений по управлению качеством образования.

4. Заключение

Проведен анализ показателей, характеризующих качество образования, выполнена их структуризация и сформированы множества управляющих, промежуточных и целевых концептов. Построена нечеткая когнитивная карта для анализа и управления качеством образования. Рассмотрен алгоритм определения когнитивной матрицы взаимовлияний. Рассчитаны системные показатели нечеткой когнитивной карты, которые позволили выявить высокий уровень консонанса. Проведен анализ нормированных показателей, позволивший определить концепты, оказывающие наиболее сильное влияние на систему, а также концепты, наиболее сильно подверженные воздействию со стороны системы.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 17-08-01155.

Список используемых источников

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие образования» на 2013–2020 гг. URL: <http://минобрнауки.рф/документы/3409> (дата обращения: 31.03.2018).
2. Макларен Н.Б., Шорохова М.А., Сиротина И.Л. Качество жизни и качество образования: проблема соотношения // Интеграция образования. – 2015. – Т. 19, № 4. – С. 72–77. DOI: 10.15507/1991-9468.081.019.201504.072
3. Черняховская Л.Р., Герасимова И.Б., Салаватова А.Р., Мухамедрахимова Л.Н. Оценка влияния социально-психологических факторов на качество подготовки студента с применением нечетких когнитивных карт // Вестник УГАТУ. – 2014. – Т.18, № 4 (65). – С. 134–141.
4. Васильев В. И., Савина И. А., Шарипова И. И. Построение нечетких когнитивных карт для анализа и управления информационными рисками вуза // Вестник УГАТУ. – 2008. – Т.10, № 2 (27). – С.199-209.
5. Ильясов Б.Г., Герасимова И.Б., Макарова Е.А., Закиева Е.Ш. Объективно-субъективный подход к оценке качества жизни // Качество. Инновации. Образование. – 2016. – № 2 (129). – С. 47-57.
6. Регионы России. Социально-экономические показатели // Информационно-аналитические материалы Федеральной службы государственной статистики, 2016; URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b17_34/Main.htm (дата обращения: 31.03.2018).
7. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС); URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 31.03.2018).
8. Приказ Минобрнауки России от 11.06.2014 N 657 (ред. от 13.02.2017) «Об утверждении методики расчета показателей мониторинга системы образования» (Зарегистрировано в Минюсте России 13.08.2014 N 33570).
9. Kosko B. Fuzzy cognitive maps // Int. Journal of Man-Machine Studies. 1986. Vol. 24. P. 65–75.
10. Силов В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995. 228 с.