УДК 004.81

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Макарова Е.А., Закиева Е.Ш., Габдуллина Э.Р.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, e-mail: gabdullina_er@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы разработки моделей процессов анализа и управления качеством образования. Предлагается подход, основанный на определении траекторий достижения целевых индикаторов качества образования с использованием технологий инженерии знаний. Предложена функциональная схема модели управления качеством образования. Проведена структуризация показателей качества образования, выделены управляющие, целевые показатели и показатели, характеризующие текущее состояние системы образования. Для анализа и поддержки принятия решений по управлению качеством образования проводится когнитивное моделирование. На основе статистических данных с использованием методов статистического и интеллектуального анализа разработана нечеткая когнитивная карта (НКК). С помощью алгоритма Силова проводится статический анализ НКК для поиска прямого и опосредованного влияния концептов друг на друга. Выполнен анализ интегральных системных показателей построенной НКК, по результатам которого определены наиболее значимые концепты, оказывающие наиболее сильное влияние на состояние системы образования. Формируется положительно-отрицательная транзитивно замкнутая матрица взаимовлияния концептов, по которой определяются максимально положительные и отрицательные траектории перехода из управляющих концептов в целевые. Множество построенных траекторий перехода, определенных по НКК, целесообразно использовать для формирования нечетких правил принятия решений по управлению качеством образования.

Ключевые слова: нечеткие когнитивные карты, качество образования, схема управления, интеллектуальные алгоритмы, траектории перехода

EDUCATION QUALITY MANAGEMENT ON THE BASIS OF FUZZY COGNITIVE MODELING

Makarova E.A., Zakieva E.Sh., Gabdullina E.R.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: gabdullina_er@mail.ru

The article deals with the development of models of the processes of analysis and management of the quality of education. An approach based on determining the trajectories of achieving the target indicators of the quality of education using knowledge engineering technologies is proposed. A functional diagram of the education quality management model is proposed. The structuring of indicators of the quality of education has been carried out, the managers, target indicators and indicators characterizing the current state of the education system have been identified. To analyze and support decision making on the quality management of education, cognitive modeling is carried out. Based on statistical data using the methods of statistical and intellectual analysis, a fuzzy cognitive map (FCM) has been developed. Using the Sylow algorithm, a static analysis of FCM is carried out to search for the direct and indirect influence of the concepts on each other. The analysis of the integral system indicators of the constructed FCM is performed, the results of which determine the most significant concepts that have the strongest influence on the state of the education system. A positive-negative transitively closed matrix of the mutual influence of concepts is formed, which determines the most positive and negative trajectories of the transition from control concepts to target ones. The set of transition paths defined by the FCM, it is advisable to use to form fuzzy rules for making decisions on the management of the quality of education.

Keywords: fuzzy cognitive maps, quality of the education, control circuit, intelligent algorithms, transition paths

Для повышения качества образования как приоритетного направления государственной политики РФ в государственной программе Российской Федерации «Развитие образования» на 2013–2020 гг. [1] определены целевые индикаторы и объемы финансовых ресурсов на мероприятия по реализации социальной политики. Управление реализацией Программы предполагает проведение мониторинга [2] достижения целевых показателей качества образования субъектов федерации.

Проблема управления качеством образования как сложной системой связана с множеством целей управления: повышением качества дошкольного, дополнительного, школьного, профессионального образования, обеспечением кадрами системы образования, финансовым обеспечением, обновлением инфраструктуры системы образования и т.д. Вместе с тем высокая степень неопределенности протекающих в системе экономических процессов, меняющихся требований рынка труда и социальных изменений может негативно повлиять на уровень достижения целевых показателей [3], что отражается на удовлетворенности населения качеством образовательных услуг, на эффективности использования направленных на образование бюджетных

средств, на обеспечении потребностей экономики высококвалифицированными кадрами по приоритетным направлениям и т.д.

Одним из подходов к повышению эффективности управления является подход, основанный на определении траекторий достижения целевых индикаторов качества образования с использованием технологий инженерии знаний. В статье предлагается процедура реализации этого подхода.

Материалы и методы исследования

В рамках проводимых исследований разработана функциональная схема (рис. 1) модели системы управления качеством образования.

Нижний уровень управления качеством образования реализован в виде замкнутого контура и направлен на достижение целевых координат образовательной системы $Y^0 = \{Y_i^0\}$. К *целевым* индикаторам качества образования относятся: Y_1^0 – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе бакалавриата»; Y_2^0 – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе высшего образования – специалитет, магистратура»; Y_3^0 – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе среднего профессионального образования (подготовка квалифицированных рабочих, служащих)»; Y_4^0 – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе среднего профессионального образования (подготовка специалистов среднего звена)»; Y_5^0 – «Удельный вес численности занятого населения в возрасте 25–65 лет, прошедшего повышение квалификации и (или) профессиональную подготовку»; Y_6^0 – «Удельный вес сектора учреждений высшего образования во внутренних затратах на исследования и разработки».

Показатели $P = \{P_i\}$ характеризуют качество образования, измеряются объективно и являются *внутренними* (промежуточными) параметрами модели качества образования. Показатели описывают широту охвата населения различными образовательными программами: 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».

Система образования функционирует в условиях неопределенности внешней среды, характеризующихся возмущениями $F = \{F_i\}$ в виде изменения факторов рынка труда, социально-экономических условий и т.д.

Рис. 1. Функциональная схема модели управления качеством образования

Верхний уровень управления построен с целью анализа результатов функционирования системы образования и принятия решений, направленных на повышение качества образования путем корректировки распределения объемов финансовых ресурсов образовательных организаций основных ступеней (общего, среднего профессионального, высшего) образования. Выделены векторы управляющих воздействий: U_1 – «Общий объем финансирования всех образовательных организаций, реализующих программы общего образования, тыс. руб/чел.»; U_2 – «Объем финансирования образовательных организаций высшего образования, тыс. руб/чел.»; U_3 – «Объем поступивших средств в среднее профессиональное образование, тыс. руб/чел.». на основе сформированных экспертной системой решений по управлению качеством образования. Реализация верхнего уровня управления осуществляется на основе интеллектуальных алгоритмов с использованием методов интеллектуального анализа данных, когнитивного и нейро-нечеткого моделирования.

Для моделирования, прогнозирования и поддержки принятия решений по управлению качеством образования как сложной слабоструктурированной, слабоформализуемой системой используется универсальный инструментарий понимания поведения сложных систем – аппарат когнитивных карт (КК). Применение КК обусловлено возможностью наглядного представления системы в виде взаимосвязанных друг с другом концептов, возможностью интерпретации причинно-следственных связей между концептами и построением траекторий достижения одних концептов через другие [4].

Построение когнитивных карт проводится на основе статистических данных о результатах обследования качества образования по регионам РФ, предоставленных Федеральной службой государственной статистики [5] и Единой межведомственной информационно-статистической системой по регионам РФ [6] за 2015/2016 гг. С целью определения количества значимых признаков в исходных данных проводится интеллектуальный анализ данных методом главных компонент, результатом которого является окончательно сформированный набор концептов когнитивной карты. С учетом результатов проведенной структуризации показателей качества образования [7] формируются соответственно управляющие, промежуточные и целевые концепты КК.

Далее проводится поиск причинно-следственных зависимостей между концептами на основе корреляционно-регрессионного анализа; строится когнитивная карта (рис. 2) и выполняется ее экспертное оценивание. Направления связей на КК определены на основе регрессионного анализа, а значения весовых коэффициентов связей установлены с помощью корреляционного анализа [8]. Влияние целевых концептов на управляющие концепты обозначено на рисунке пунктирными линиями.

Поскольку направленные ребра графа построенной когнитивной карты отражают не только причинно-следственные связи между концептами, но и позволяют различать интенсивность взаимовлияния между ними в диапазоне действительных чисел [–1, 1], становится возможным применять аппарат *нечеткого* когнитивного моделирования.

Впервые предложенные Б. Коско [9], нечеткие когнитивные карты (НКК) в дальнейшем подвергались различным модификациям с целью моделирования сложных систем. В данной работе используются НКК В.Б. Силова [10], в которых отношения между концептами рассматриваются как элементы нечеткой матрицы смежности для графа НКК; а проблема обработки отрицательных влияний решается путем удвоения мощности множества концептов и их раздельной обработки.

Для решения задач когнитивного моделирования [11] вводится каузальная алгебра, в основе которой лежат макстриангулярные операции с нечеткими матрицами, когда нечеткие значения выходных концептов рассчитываются с использованием характерных для нечеткой логики операций *T*- и *S*-норм над нечеткими значениями входных концептов и весов влияния.

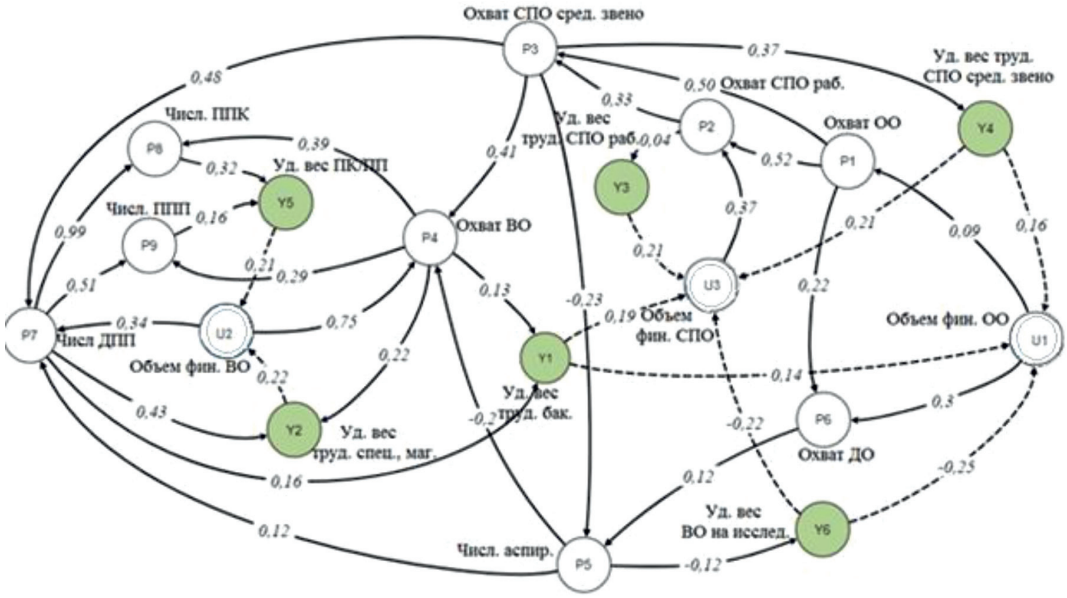

Рис. 2. Нечеткая когнитивная карта для анализа качества образования

НКК Силова представляют собой сеть $G = (K, W)$, где K – множество концептов; W – множество связей, причем элементы нечеткого отношения $w_{ij} = W(K_i, K_j) \in [-1, 1]$ характеризуют направление и степень интенсивности (вес) влияния между концептами K_i и K_j: При статическом анализе когнитивных карт Силова проводится нахождение итогового (совокупного) взаимовлияния концептов друг на друга с учётом прямого и опосредованного влияния и строится матрица взаимовлияния.

Для построения матрицы взаимовлияний вначале строится матрица положительных связей $R = [r_{kq}]_{2n\times 2n}$, в которой элементы r_{kq} определяются из матрицы $W = [w_{ij}]_{n\times n}$ путем следующей замены: если $w_{ij} > 0$, то $r_{2i\text{-}1,2j\text{-}1} = w_{ij}$, $r_{2i,2j} = w_{ij}$, если $w_{ij} < 0$, то $r_{2i\text{-}1,2j} = w_{ij}$, $r_{2i,2j\text{-}1} = -w_{ij}$, остальные элементы принимают нулевое значение. Затем формируется матрица взаимовлияния концептов, состоящая из положительно-отрицательных пар элементов, характеризующих максимальные положительные и отрицательные причинно-следственные пути между всеми концептами; такая матрица строится путем транзитивного замыкания по формуле: $\check{R} = \bigvee_{l=1}^{\infty} R^l$, причем в R существуют двойные связи, представленные положительно-отрицательной парой $(v_{ij}, \overline{v_{ij}})$: $v_{ij} = \max(r_{2i-1,2j-1}, r_{2i,2j})$, $\overline{v_{ij}} = -\max(r_{2i\text{-}1,2j} = w_{ij}, r_{2i,2j\text{-}1})$.

На основе транзитивно замкнутой матрицы рассчитываются системные показатели когнитивной карты: консонанс, диссонанс и воздействие или влияние концептов [12]. Для построенной НКК в таблице представлены интегральные показатели консонанса (диссонанса) влияния системы на концепт, консонанса (диссонанса), влияния концепта на систему, а также показатели, нормированные к сумме всего консонанса (диссонанса) системы.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ интегральных системных показателей построенной когнитивной карты выявил высокий уровень консонанса (меры доверия к знаку и силе воздействия). Высокие значения влияния концепта на систему у концептов U_2 (0,17) и P_3 (0,17) свидетельствуют о том, что объем финансирования образовательных организаций высшего образования оказывает наиболее значительное воздействие на качество образования, а показатели охвата молодежи образовательными программами подготовки специалистов среднего звена (15–19 лет) в большей степени характеризуют качество образования. Дальнейший анализ выявил концепты, наименее влияющие на качество образования в целом – это концепты P_5 (–0,02); P_6 (0,03), характеризующие численность аспирантов и охват детей дополнительным образованием.

Интегральные показатели консонанса (диссонанса) влияния системы на концепт, консонанса (диссонанса) влияния концепта на систему, а также показатели, нормированные к сумме всего консонанса (диссонанса) системы

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
U_1	0,90	0,10	0,83	0,17	0,02	0,04
U_2	0,85	0,15	0,90	0,10	0,05	0,17
U_3	0,92	0,08	0,92	0,08	0,04	0,05
P_1	0,92	0,08	0,89	0,11	0,01	0,15
P_2	0,95	0,05	0,91	0,09	0,06	0,08
P_3	0,96	0,04	0,90	0,10	0,06	0,17
P_4	0,92	0,08	0,90	0,10	0,10	0,08
P_5	0,42	0,58	0,52	0,48	–0,02	0,01
P_6	0,93	0,07	0,58	0,42	0,03	0,01
P_7	0,94	0,06	0,90	0,10	0,09	0,15
P_8	0,87	0,13	0,90	0,10	0,21	0,03
P_9	0,85	0,15	0,90	0,10	0,12	0,02
Y_1	0,86	0,14	0,86	0,14	0,04	0,03
Y_2	0,85	0,15	0,90	0,10	0,10	0,05
Y_3	0,95	0,05	0,93	0,07	0,00	0,02
Y_4	0,97	0,03	0,86	0,14	0,04	0,04
Y_5	0,86	0,14	0,90	0,10	0,11	0,05
Y_6	0,47	0,53	0,84	0,16	0,00	–0,05

Помимо системных показателей на основе положительно-отрицательной транзитивно замкнутой матрицы можно определять максимально положительные и отрицательные траектории. Для решения этой задачи используется алгоритм, который выполняет функцию интеллектуального когнитивного агента (ИКА-алгоритм) и позволяет аналитику определить траектории перехода через концепты. Например, при определении траекторий между управляющим концептом U_2 и целевым концептом Y_2 (0,165; –0,00003) выявлено, что позитивная траектория проходит через концепты: $U_2 \xrightarrow{0,75} P_4 \xrightarrow{0,22} Y_2$, а отрицательная траектория – через $U_2 \xrightarrow{0,75} P_4 \xrightarrow{0,13} Y_1 \xrightarrow{0,19} U_3 \xrightarrow{0,37} P_2 \xrightarrow{0,33} P_3 \xrightarrow{-0,23} P_5 \xrightarrow{0,12} P_7 \xrightarrow{0,43} Y_2$. Таким образом, при распределении финансовых ресурсов для увеличения целевого концепта необходимо направить средства на поддержание концепта P_4 – «Охват молодежи образовательными программами высшего образования». Отметим, что множество траекторий перехода из управляющих концептов в целевые, определенные по когнитивной карте, образует нечеткие правила принятия решений по управлению качеством образования. Значения концептов, входящих в траектории перехода, формируют обучающую выборку, которая служит основой нейро-нечеткого моделирования и используется для решения задач прогнозирования и принятия решений.

Заключение

Предложена процедура реализации подхода к разработке моделей процессов анализа и управления качеством образования, основанная на определении траекторий достижения целевых индикаторов качества образования с использованием технологий инженерии знаний. Процедура предполагает построение схемы модели управления качеством образования, интеллектуальный анализ показателей качества образования, проведение когнитивного моделирования, включающего построение когнитивных карт, формирование траекторий перехода между управляющими и целевыми концептами, разработку нечетких правил принятия решений, а затем использование нейро-нечетких моделей для принятия решений по управлению качеством образования.

Проведена структуризация показателей, характеризующих качество образования, сформированы множества управляющих, промежуточных и целевых концептов. Предложена двухуровневая функциональная схема модели управления качеством образования, в которой нижний уровень реализован в виде замкнутого контура управления, а верхний уровень представляет собой систему управления с использованием технологий инженерии знаний.

Построена когнитивная модель, по результатам анализа которой определены концепты и связи НКК; определены системные показатели НКК, позволяющие выявить концепты, наиболее сильно влияющие на качество образования, и, наоборот, системы образования на концепт; сформированы траектории перехода между управляющими и целевыми концептами, позволяющие построить нечеткие правила принятия решений по управлению качеством образования. Установлено, в частности, что для повышения качества образования наилучшим распределением финансовых ресурсов является поддержание концепта «Охват молодежи образовательными программами высшего образования».

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-08-01155 А «Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении многоотраслевым производственным комплексом как многосвязным динамическим объектом на основе нейросетевого и имитационного моделирования».

Список литературы

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие образования» на 2013–2020 гг. от 15 мая 2013 г. № 792-р [Электронный ресурс]. URL: http://минобрнауки.рф/документы/3409 (дата обращения: 20.11.2018).

2. Приказ Минобрнауки России «Об утверждении методики расчета показателей мониторинга системы образования» от 11 июня 2014 № 657 [Электронный ресурс]. URL: http://base.garant.ru/70721990/ (дата обращения: 20.11.2018).

3. 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.

4. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 284 с.

5. Регионы России. Социально-экономические показатели // Информационно-аналитические материалы Федеральной службы государственной статистики. 2016 [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b17_34/Main.htm (дата обращения: 20.11.2018).

6. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. URL: https://www.fedstat.ru (дата обращения: 20.11.2018).

7. 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.

8. Макарова Е.А., Закиева Е.Ш., Габдуллина Э.Р., Махмутова А.Э. Алгоритмы формирования знаний для построения когнитивной модели качества жизни в сфере высшего образования на региональном уровне // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: труды IV межд. конф. (Уфа, 17–19 мая, 2016). 2016. Т. 2. С. 54–59.

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.

11. 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.

12. 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.