

## МОНИТОРИНГ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАСТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА МЕТОДАМИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Е. Н. Павлов\*, И. А. Шуйкова\*\*

\*Департамент образования администрации города Липецка

\*\*Липецкий государственный технический университет

Поступила в редакцию 28.02.2014 г.

**Аннотация.** настоящая статья рассматривает модель оценки эффективности деятельности участников образовательного проекта, которая может быть представлена как в виде классических статистических процедур, так и на основе правил нечеткого логического вывода. Нечеткая логика предоставляет в этом случае инструментарий, позволяющий производить оценку эффективности способами, более адекватными объекту исследования.

**Ключевые слова:** экспертные оценки, нечеткая логика, правила нечеткого логического вывода, образовательный проект.

**Annotation.** This article considers the model of an assessment of efficiency of participants' activity of the educational project which can be presented both in the form of classical statistical procedures, and on the basis of rules of an indistinct logical conclusion. In this case the fuzzy logic provides the tools, allowing to make an assessment of efficiency by ways which are more adequate to the object of research.

**Keywords:** expert estimates, fuzzy logic, rules of an indistinct logical conclusion, educational project.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Необходимость оценки эффективности деятельности участников образовательных проектов продиктована стратегиями федерального и регионального уровней в области образования. Так, в качестве приоритетной выделяется стратегическая цель – создание механизма устойчивого развития системы образования, одной из задач которой является задача развития образования как открытой государственно-общественной системы, предлагающая повышение роли всех участников образовательного процесса. Следовательно, нужен инструмент оценки, который позволяет ответить на вопросы сторон, предъявляющих разные требования к качеству образования. В период интенсивного развития дистанционного образования, обозначенные выше вопросы становятся еще

более актуальными. Органам управления образования важно выстроить структуру и качество работы образовательной сети с позиций удовлетворения запроса населения и обеспечения устойчивого развития образовательных учреждений и проектов [7]. В качестве инструмента оценки эффективности деятельности участников образовательных проектов на разных управленческих уровнях проектируются системы оценки качества образования, которые позволяют получить различным субъектам образовательного процесса достоверную информацию о качестве предоставляемых услуг, соотнести ожидания потребителей и их удовлетворенность качеством образования.

Система оценки качества образования, как правило, представляет собой совокупность процедур внутренней и внешней оценок результатов образовательной деятельности ее участников и факторов, влияющих на эти результаты (образовательных услуг и

условий образовательного процесса). К механизмам внешней оценки относятся процедуры независимой экспертизы, а внутренняя оценка качества образования включает отслеживание динамики развития субъектов образовательного процесса по соответствующим параметрам системы оценки качества.

В основе модели оценки эффективности взаимодействия участников образовательного проекта могут быть использованы как классические статистические процедуры, так и методы нечеткой математики. В работе представлена математическая модель мониторинга эффективности участников распределенного дистанционного образовательного проекта, описанная в терминах классических статистических методов и в терминах нечеткой логики.

Для сравнения и анализа полученных результатов была произведена компьютерная обработка результатов, подтверждающая идентичность оценок эффективности на основе четкой и нечеткой модели, что говорит о ее адекватности.

Данные для практического исследования были получены по результатам четырехлетней работы очно-заочной школы «Одаренный ребенок», организатором которой являлось управление образования и науки Липецкой области.

## 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАСТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

### 2.1. Описание задачи исследования

Данные для исследования были получены по результатам работы очно-заочной школы «Одаренный ребенок», работа которой преимущественно проходит в дистанционном режиме. Очно-заочная школа представляет собой распределенную структуру, состоящую из муниципалитетов районов области, преподавателей и кураторов проекта. Организационная структура дистанционной школы приведена на рис. 1. Эффективность деятельности участников данного образовательного проекта на уровне районов являлась предметом контроля органа управления образованием.

Упрощенная модель оценивания крупных субъектов образовательного процесса дистанционной школы (районов) включает в себя пять параметров, определенных экспертами: сохранность контингента обучающихся (определяется по положительной или отрицательной динамике работы зарегистрированных обучающихся); среднее количество выполненных участниками каждого субъекта модулей; количество выданных документов об окончании курса дистанционной школы (процедура выдачи документа регламентирована и определена количественными и ка-

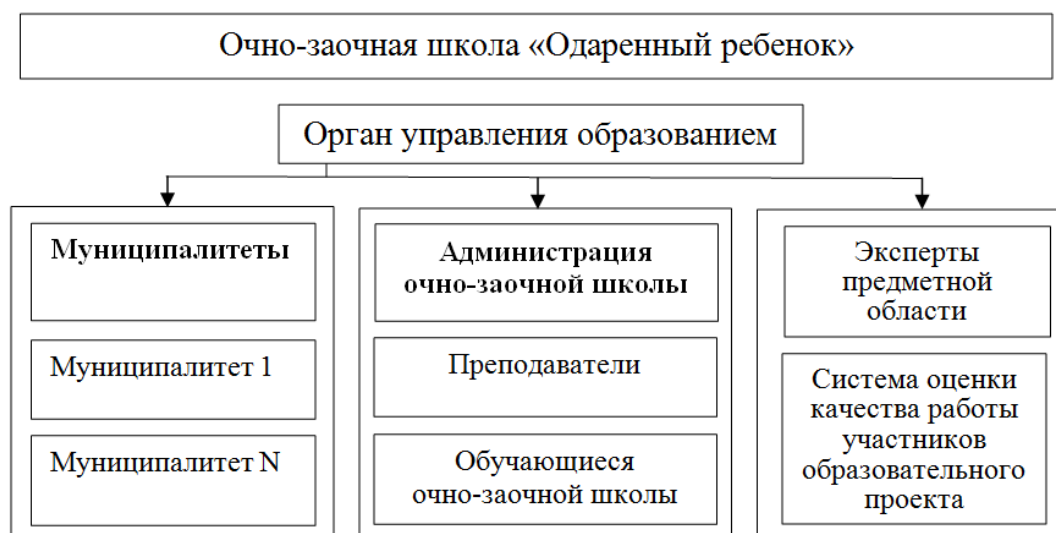


Рис. 1. Организационная структура дистанционной школы

чественными показателями); средняя оценка участников дистанционной школы по выполненным модулям; количество участников, посещающих очные встречи, предусмотренные проектом.

Каждый параметр имеет весовой коэффициент, который формулируется экспертами и может быть изменен согласно задачам проводимого мониторинга. Для каждого субъекта образовательного проекта известны числовые значения этих параметров. Необходимо оценить эффективность каждого субъекта. Представим вначале оценку эффективности деятельности участников образовательного проекта на основе классических статистических процедур.

## 2.2. Оценка эффективности участников образовательного проекта на основе классических процедур

Оценивание эффективности субъектов образовательного процесса проводится по сформулированным критериям на основе эталонных показателей – установленных экспертами значений параметров, ниже которых показатели считаются недопустимыми. Эталонные показатели определяются для каждого параметра информационно-оценочной системы оценки эффективности. Это могут быть средний показатель по критерию по всем субъектам, минимально (или максимально) возможный показатель параметра, показатель, определенный нормативными документами.

Более наглядно оценить близость показателей участников образовательного процесса к эталонным позволяют отклонения показателей параметров от эталонных значений.

$$КОП_i = P_i - ПЭ,$$

где,  $P_i$  – показатель  $i$ -го субъекта по параметру;  $ПЭ$  – эталонный показатель;  $КОП_i$  – коэффициент отклонения показателя  $i$ -го субъекта по параметру от эталонного показателя.

Деятельность субъектов, коэффициенты отклонения которых по параметрам больше нуля или близки к нулю, не нуждаются в контроле со стороны органа управления об-

разованием. Деятельность субъектов, коэффициенты отклонения которых по параметрам имеют отрицательные значения, требует специального исследования с последующим принятием управленческих решений.

Вторым критерием оценки деятельности субъектов является сравнение их показателей с показателями по выборке субъектов.

Для этого для каждого параметра вычисляют среднее значение по всем субъектам и среднее квадратическое отклонение параметра. По всем субъектам для каждого параметра по формуле:

$$ОП_i = \left( (P_i - P_{cp}) / S_{nn} \right) * BK,$$

где  $P_i$  – показатель  $i$ -го субъекта по параметру;  $P_{cp}$  – выборочное среднее по параметру;  $S_{nn}$  – стандартное отклонение параметра;  $BK$  – весовой коэффициент параметра;  $ОП_i$  – относительный показатель параметра  $i$ -го субъекта.

При таком подходе итоговая эффективность субъекта будет находиться как сумма всех относительных показателей параметра. Величина итоговой эффективности позволяет оценить эффективность работы участников образовательного проекта.

## 2.3. Оценка эффективности участников образовательного проекта на основе процедур нечеткой логики

Пусть  $x$  и  $y$  – наименования входной и выходной лингвистических переменных;  $A$  и  $B$  – некоторые нечеткие множества (функции принадлежности), взятые из терм-множеств переменных  $x$  и  $y$  соответственно. Лингвистическим правилом нечеткого логического вывода «если...то...» называется конструкция вида:

$R$ : если  $x$  есть  $A$ , то  $y$  есть  $B$ , где « $x$  есть  $A$ » – нечеткое высказывание, называемое предпосылкой, а « $y$  есть  $B$ » – нечеткое высказывание, называемое следствием правила [1, 2, 6].

Лингвистическое правило  $R$  может быть интерпретировано как нечеткое следствие (импликация)  $A \rightarrow B$  и, следовательно, выра-

жено в виде нечеткого соответствия предпосылки и следствия  $R = A \rightarrow B$ , заданного на декартовом произведении областей определения (четких множествах) входной переменной  $X$  и выходной переменной  $Y$ . Композиционное правило вывода выходного значения системы для правила  $R$  при входе  $A'$  в записи « $x$  есть  $A'$ » определяется как нечеткое множество  $B'$ , получаемое с помощью композиции входа и нечеткого соответствия импликации  $B' = A' \circ (A \rightarrow B)$ . Для получения нечеткого соответствия  $R = A \times B$ ,  $R(x, y) = A(x) \rightarrow B(y)$ , где  $A(x) = \mu A(x)$  – значение функции принадлежности элемента  $x$  нечеткому множеству  $A$ , в приложениях наиболее часто используется импликация Мамдани (т. е.

$$A(x) \rightarrow B(y) = \min \{ A(x), B(y) \}$$

и  $\max$ - $\min$  композиции. В этом случае значение функции принадлежности выходного нечеткого множества определяется по формуле:  $B' = \max \min (A'(x), \min \{ A(x), B(y) \})$ ,  $y \in Y$ .

Нечеткой системой логического вывода, основанной на лингвистических правилах «если...то...», называется конструкция вида:

$$R_1 : \text{если } x \text{ есть } A_1, \text{ то } y \text{ есть } B_1,$$

$$R_2 : \text{если } x \text{ есть } A_2, \text{ то } y \text{ есть } B_2,$$

...

$$R_m : \text{если } x \text{ есть } A_m, \text{ то } y \text{ есть } B_m,$$

где  $A_i$  и  $B_i$  – нечеткие множества.

Существуют два основных способа определения выхода  $B'$ . В обоих методах используется понятие агрегации правил, т. е. учёт суммарного эффекта от работы всех правил. В качестве оператора агрегации  $\text{Agg}$  обычно применяется  $s$ -норма, но допускается использование и произвольной  $t$ -нормы. Существуют два метода определения выхода системы логических правил.

Первый способ определения выхода состоит в предварительной агрегации нечетких соответствий:  $R = \text{Agg}(R_1, R_2, \dots, R_m)$ . В результате  $B'$  при заданном входе  $A'$  находится при помощи композиционного правила вывода:  $B' = A' \circ R$ . Если оператор агрегации представляет собой операцию максимума, то

механизм логического вывода примет вид:  $B' = A' \circ R_i$ .

Второй способ вывода заключается в первоначальном определении выходов для каждого правила с использованием композиции  $B_i' = A' \circ R_i$ . Далее осуществляется агрегация полученных ранее выходов правил  $B' = \text{Agg}(B_1', B_2', \dots, B_m')$ , т. е.  $B' = (A' \circ R_i)$ .

В модели оценки эффективности участников дистанционной школы используем первый способ. Нечеткая система логических выводов основана на трёх лингвистических правилах:

$$R_1 : \text{если } x \text{ есть } A_1, \text{ то } y \text{ есть } B_1,$$

$$R_2 : \text{если } x \text{ есть } A_2, \text{ то } y \text{ есть } B_2,$$

$$R_3 : \text{если } x \text{ есть } A_3, \text{ то } y \text{ есть } B_3,$$

где  $A_i$ ,  $B_i$  – векторы, которые формируются при создании параметра.  $A$  – искомый параметр,  $B$  – эффективность работы субъекта.  $A_i = (A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{in})$ ,  $B_i = (B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{im})$ .

Далее производится агрегация:

$$R = \text{Agg}(R_1, R_2, R_3).$$

Определяется выход системы логических правил  $B' = A' \circ R$ .  $A' = (A_1', A_2', \dots, A_n')$ .

$$B_1' = \min \{ \max(A_1', R_{11}), \dots, \max(A_1', R_{n1}) \},$$

$$B_2' = \min \{ \max(A_2', R_{12}), \dots, \max(A_2', R_{n2}) \},$$

...

$$B_n' = \min \{ \max(A_n', R_{1n}), \dots, \max(A_n', R_{nn}) \},$$

$$B' = (B_1', B_2', \dots, B_n').$$

Более сложной и интересной является ситуация, когда имеется не одна, а несколько входных переменных (будем считать, что имеется лишь один выход, т.к. в случае нескольких выходных переменных может быть построен набор нечетких систем с одним выходом в каждой из них):

$$R_1 : \text{если } x_1 \text{ есть } A_{11} \text{ и } \dots, x_n \text{ есть } A_{1n}, \text{ то } y \text{ есть } B_1,$$

$$R_2 : \text{если } x_1 \text{ есть } A_{21} \text{ и } \dots, x_n \text{ есть } A_{2n}, \text{ то } y \text{ есть } B_2,$$

...

$$R_m : \text{если } x_1 \text{ есть } A_{m1} \text{ и } \dots, x_n \text{ есть } A_{mn}, \text{ то } y \text{ есть } B_m,$$

где  $x_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) – входные лингвистические переменные,  $y$  – выходная лингвистическая переменная;  $A_{ij}$  и  $B_i$  – нечеткие множества. Логическая связка «и» интерпретируется как

$t$ -норма нечетких множеств. В отличие от случая с одной входной переменной представление импликации в виде соответствия в многовыходных системах (за исключением случая с двумя входами) невозможно. В связи с этим применяется механизм логического вывода, характерной чертой которого является использование уровней истинности предпосылок правил (firing levels).

Под уровнем истинности предпосылки (или просто уровнем истинности)  $i$ -го правила понимается вещественное число  $\alpha_i$ , характеризующее степень соответствия входа системы  $A_1', A_2', \dots, A_n'$  нечетким множествам  $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{in}$  в предпосылке  $i$ -го правила –  $\alpha_i = \min \left[ \max (A_j'(x_j) A_{ij}(x_j)) \right]$ .

В случае из двух переменных  $x_1$  и  $x_2$  алгоритм вывода будет состоять из следующих шагов: для каждого правила  $R_i$  вычисляется уровень истинности правила  $\alpha_i$ ; для каждого правила вычисляются индивидуальные выходы:  $B_i'(y) = \min(\alpha_i, B_i(y))$ . Вычисляется агрегатный выход:

$$B'(y) = \max(B_1'(y), B_2'(y), \dots, B_m'(y)).$$

Данный способ вывода называется max-min выводом или выводом Мамдани (импликация интерпретируется как операция минимума, агрегация выходов правил – как операция максимума).

### 3. АПРОБАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЧАСТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА МЕТОДАМИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Рассмотрим оценку эффективности взаимодействия участников образовательного проекта на основе лингвистических правил нечеткой логики. Для этого мы каждый параметр и эффективность представим в виде нечеткого множества с тремя уровнями: низким, средним и высоким (рис. 2).

Формируем лингвистические правила по вышеприведенным формулам и находим эффективность по каждому субъекту дистанционной школы. Для примера рассмотрим один из субъектов (рис. 3).

Вначале производится фазификация четких значений параметров с использованием треугольных чисел (рис. 4).

Для каждого лингвистического правила определяется уровень истинности предпосылки (рис. 5).

Затем вычисляются индивидуальные выходы и производится агрегация (рис. 6, рис. 7). Умножив полученный агрегатный выход на результирующий вектор, получим оценку эффективности работы субъектов дистанционной школы. Чем больше это значение, тем выше оценка эффективности.

Сохранность контингента, %					
	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
A11	1	0,7	0,5	0,2	0,1
A12	0,2	0,6	1	0,8	0,1
A13	0,1	0,3	0,5	0,8	1

Среднее количество выполненных модулей					
	0-1	2	3-4	5	6
A21	1	0,8	0,4	0,1	0,1
A22	0,2	0,6	1	0,5	0,1
A23	0,1	0,3	0,5	0,8	1

Количество выданных сертификатов					
	0-9	10-14	15-20	21-30	более 30
A31	1	0,8	0,5	0,3	0,1
A32	0,1	0,8	1	0,7	0,1
A33	0,1	0,2	0,5	0,8	1

Средняя оценка по району					
	0-2	3-4	5	6-7	8-10
A41	0,9	0,7	0,4	0,2	0,1
A42	0,1	0,7	1	0,8	0,1
A43	0,1	0,3	0,6	0,8	1

Количество участников очной встречи					
	0-9	10-19	20-34	35-50	более 50
A51	0,9	0,6	0,4	0,2	0,1
A52	0,4	0,8	1	0,8	0,6
A53	0,1	0,4	0,7	0,9	1

Эффективность					
	0-19%	20-39%	40-59%	60-79%	80-100%
B1	1	0,8	0,5	0,3	0
B2	0,1	0,7	1	0,8	0,1
B3	0	0,2	0,5	0,8	1

Рис. 2. Нечёткие множества входных и выходного параметров

Сохранность контингента, %	33,3
Среднее количество выполненных модулей	2,33
Количество выданных сертификатов	1
Средняя оценка по району	4,5
Количество участников на очную встречу	4

Рис. 3. Значения параметров одного из субъектов

A1'	0,333333	1	0,714286	0,428571	0,142857
A2'	0,142857	0,571429	1	0,571429	0,285714
A3'	0,983607	0,737705	0,57377	0,327869	0
A4'	0,2	0,7	1	0,7	0,2
A5'	1	0,839695	0,648855	0,419847	0,229008

Рис. 4. Значения параметров в виде нечётких множеств

$\alpha_1$	0,571429
$\alpha_2$	0,714286
$\alpha_3$	0,5

Рис. 5. Уровни истинности предпосылки

	0-19%	20-39%	40-59%	60-79%	80-100%
B1'	0,571429	0,571429	0,5	0,3	0
B2'	0,1	0,7	0,714286	0,714286	0,1
B3'	0	0,2	0,5	0,5	0,5

Рис. 6. Индивидуальные выходы одного из субъектов

	0-19%	20-39%	40-59%	60-79%	80-100%
B'	0,571429	0,7	0,714286	0,714286	0,5

Рис. 7. Агрегатный выход

Программная реализация описанных процедур позволяет производить постоянный мониторинг эффективности деятельности участников дистанционной школы, обеспечивает открытость процесса оценивания деятельности субъектов органом управления образованием.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлена модель оценки эффективности деятельности участников образовательного дистанционного проекта на основе классических статистических процедур и правил нечеткого логического вывода. Модель была апробирована

для мониторинга деятельности субъектов очно-заочной школы. Полученные результаты оценки эффективности чёткими и нечёткими методами идентичны (выдают одинаковый рейтинг субъектов), что подтверждает целесообразность применения правил нечеткого логического вывода в рамках поставленной задачи. Дальнейшее развитие работы предполагает оценку расстояний между значениями нечеткого логического вывода в разные периоды времени, что позволит произвести обоснованный мониторинг динамики результативности деятельности участников дистанционного образовательного проекта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А., Сараев П.В., Черпаков И.В. Нечёткая логика: алгебраические основы и приложения. – Липецк: Липецкий эколого-гуманитарный институт, 2002.
2. Железнов И., Мельник О. Оценка эффективности сложных систем управления. – М.: Белые альвы, 2011.
3. Зайцев Е.А., Шуйкова И.А. Инструментарий оценки эффективности совместного образовательного проекта на основе правил нечеткого логического вывода // Труды тринадцатой международной конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии». – Воронеж: ВГУ, 2013. С. 16–20.
4. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Физматлит, 2001.
5. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2007.
6. Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2008.
7. Шамаева, А.М., Хроменкова О.О. Оценка качества образования на муниципальном уровне // Народное образование, 2011. – № 6. – С. 138–144.

**Павлов Е.Н.** – председатель департамента образования администрации города Липецка. E-mail: umz@inbox.ru

**Шуйкова И.А.** – к.т.н., доцент кафедры прикладной математики Липецкого государственного технического университета. E-mail: shujkova\_i\_a@inbox.ru

**Pavlov E.N.** – chairman of the Lipetsk Department of Education. E-mail: umz@inbox.ru

**Shuykova I.A.** – Candidate of technical sciences, Senior Lecturer of the Lipetsk State Technical University. E-mail: shujkova\_i\_a@inbox.ru