УДК 519.865.7

Белокрылов К.А.[1]
Стрельцова Е.Д.[2]

[1]ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: kbelokrylov@sfedu.ru

[2]ФГВОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», Новочеркасск, e-mail: el_strel@mail.ru

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕКАЯ МОДЕЛЬ В ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАКУПОК НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

Ключевые слова: государственные закупки, экспертная система, оценка качества, логико-лингвистическая модель, нечёткая логика.

В настоящее время возникла необходимость разработки моделей и базирующихся на них систем эффективного использования бюджетных средств. В решении этой проблемы ключевую роль играют задачи организации и оценки качества государственных закупок. В статье произведён обзор существующих подходов, моделей и различных организационных предложений для решения этой проблемы. Настоящая статья посвящена созданию экспертной системы оценки качества государственных закупок. Предложена структура экспертной системы, включающая блок базы знаний и её интеллектуального редактора, позволяющего обновлять и добавлять новые знания. Поставлена задачи создания экономико-математического инструментария оценивания качества товаров и услуг, приобретаемых бюджетными организациями. Выбраны характеристики, оцениваемые экспертами при решении поставленной задачи, и пределы их изменений. Создана логико-лингвистическая модель, позволяющая производить обработку качественно выраженных характеристик государственных закупок. При построении модели использован математический аппарат нечёткой логики. Формально описаны в виде нечётких множеств качественно выраженные входные и выходные характеристики, используемые при оценке качества государственных закупок. Приведены функции принадлежности, выражающие семантику нечётких множеств. Предложенная нечёткая экспертная система использует знания специалистов-экспертов в виде продукционных правил, позволяющих получить нечётко выраженные заключения на основе нечётких предпосылок. Экспертная система спроектирована на основе применения алгоритма нечёткого вывода Mamdani в пакете Fuzzy Logic Toolbox вычислительной среды MATLAB. На построенной логико-лингвистической модели проведены эксперименты, демонстрирующие зависимость изменения интегрального показателя качества государственных закупок от вариаций их входных характеристик. Предложенная экспертная система с встроенной в неё логико-лингвистической моделью позволяет принимать научно и количественно обоснованные решения при оценке качества товаров и услуг, приобретаемых бюджетными организациями.

Статья подготовлена в рамках реализации гранта РФФИ № 18-010-00871 «Разработка инструментария оценки и стимулирования качества публичных закупок: концептуальные основания и методические подходы» (рук.: д.э.н., профессор кафедры экономической теории Южного федерального университета Белокрылова О.С.).

Введение

В развитии современной экономики государственные закупки являются одной из самых главных составляющих в связи с выполнением функции обеспечения потребностей общества и государственного регулирования экономики. Все процессы, происходящие в рамках госзакупок, осуществляются на основе главного принципа эффективности использования бюджетных средств, заключающегося в осуществлении закупок товаров, работ, услуг повышенного качества при минимуме затрат. При этом преследуются противоречивые цели:

- обеспечение полного и своевременного удовлетворения потребности бюджетных организаций в товарах и услугах;
- обеспечение эффективности закупок посредством максимальной экономии бюджетных средств;
- стимулирование использования инновационной и высокотехнологичной продукции в работе бюджетных учреждений;

- реализация новой промышленной политики, целеориентированной на реиндустриализацию экономики России [1].

Наличие противоречивых целей, одни из которых необходимо обратить в максимум, а другие – в минимум создаёт сложности при формировании целевой функции и применении методов экономико-математического моделирования.

Положениями Федерального закона от 5. 04. 2013 № 44-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» [2] предусмотрено проведение экспертизы на основе привлечения экспертов и экспертных организаций. В процессе экспертного оценивания альтернатив ключевым вопросом является обработка его результатов, от которой во многом зависит качество конечных результатов. Это актуализирует проблему применения вычислительной системы, которая оперирует знаниями специалистов-персоналов в заданной предметной области, способна к обучению и накоплению новых знаний и обладает способностью принятия решений на уровне этих специалистов.

Проблема качества государственных закупок является многофакторной и её решение требует применения экономико-математических методов и моделей. Построение экономико-математической модели, позволяющей в условиях взаимодействия многих факторов осуществлять оценку качества государственных закупок, как интегрального показателя, потребовала разработки системы влияющих на этот показатель характеристик. В настоящее время наблюдается повышенный интерес к исследованиям, посвящённым разработке инструментария оценки экономической эффективности государственных закупок. Так, Патласовым О.Ю. проведён анализ оценки финансового состояния участников тендеров [3]. Автором построено уравнение линейной регрессии на основе анализируемых методик. Представляет научный интерес построенная нейросетевая модель с использованием различных видов функций активации. Исследованию экономической эффективности госсзакупок посвящены работы Крамина Т.В., Григорьева Р.А., Крамина М.В. [4], в которых предлагается использование бенчмаркетинга для российских регионов. Вопросы нечёткого моделирования в проведении электронных торгов рассматриваются в трудах Гипаева Р.В. [5]. Институциональная модернизация системы госзакупок предложена в работах Белокрыловой О.С. [6]. Способ моделирования процесса проведения тендера, начиная от постановки задачи и заканчивая принятием окончательного решения, предложен Колпаковой Т.А. [7]. Вопросам экономико-математического моделирования при решении проблем эффективности использования бюджетных средств посвящены труды Яковенко И.В. [8,9].Но проведённые авторами исследования не охватывают всего множества возникающих в этой области проблем. Это определило цель и постановку задачи разработки модельного инструментария экспертной системы для оценки качества государственных закупок.

Цель и постановка задачи исследования

Целью проведённых авторами исследований является построение экономико-математической модели, используемой в экспертной системе оценки качества государственных закупок. Многофакторный характер задачи оценки качества госзакупок потребовал разработки комплекса характеристик, влияющих на качество конечного результата. Математическая постановка задачи экспертного оценивания качества товаров и услуг, приобретаемых бюджетными организациями, состоит в реализации отображения $\Omega : X \to Y$, где $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ – показатели экспертов; Y – оценка качества закупки. Вектор X представлен следующими компонентами:

x_1 – начальная цена контракта;

x_2 – цена заключённого контракта;

x_3 – наличие (отсутствие) штрафов (пени);

x_4 – расторжение контракта на сумму.

Концептуальная модель экспертной системы, построенной на базе использования экономико-математической модели $\Omega : X \to Y$, приведена на рисунке 1.

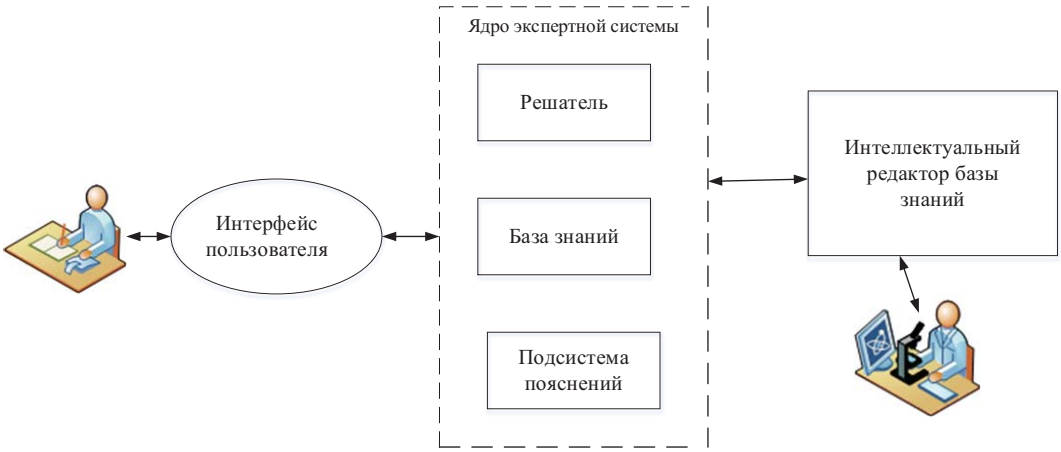

Рис.1. Концептуальная модель экспертной системы оценки качества закупок

Концептуальную модель оценки качества государственных закупок составляют следующие компоненты: интерфейс пользователя; ядро экспертной системы; интеллектуальный редактор базы знаний.

С помощью интерфейса пользователь вводит характеристики государственных закупок, поступающих в ядро экспертной системы. Ядро экспертной системы представляет собой комплекс взаимосвязанных блоков: решатель; база знаний; подсистема пояснений. База знаний представляет собой формально выраженные сведения специалистов относительно зависимостей между характеристиками государственных закупок и результирующим показателем качества. Блок «Решатель» функционирует на основе алгоритма, осуществляющего отображение $\Omega : X \to Y$ множества показателей экспертов в показатель качества. Компонента «Подсистема пояснений» визуализирует зависимости $Y = F_1(x_1, x_2)$, $Y = F_2(x_1, x_3)$, $Y = F_3(x_2, x_3)$. Предлагаемая авторами экспертная система обладает свойством обучения за счёт накопления и редактирования базы знаний (блок «Интеллектуальный редактор базы знаний)».

Методы исследования

В соответствии с концептуальной моделью, представленной на рисунке 1, разрабатываемая экспертная система должна оперировать знаниями естественного интеллекта в процессе оценки качества государственных закупок. При этом в реализации отображения $\Omega : X \to Y$ множество $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ содержит как количественные, так и качественно выраженные показатели. В следствие этого поиск зависимости $Y = \Omega(x_1, x_2, x_3, x_4)$ осуществлялся в классе логико-лингвистических исследований. При этом показатели $x_i \in X$ формально описаны лингвистическими переменными $< x_i, T(X_i)\ U_i, \mu_{X_i} >$, где x_i – название лингвистической переменной;

$T(X_i) = \{Low, Average, High\}$ – множество атомарных термов, элементы которого описывают вербальные значения лингвистической переменной в виде слов естественного языка «низкий», «средний», «высокий»;

U_i – универсальное множество, на котором заданы значения лингвистической переменной;

$\mu_{X_i} = \{\mu^j_{X_i}\}^3_{j=1}$ – функции принадлежности $\mu^j_{X_i} : U_i \to [0,1]$, описывающие смысл атомарных лингвистических переменных.

Функции принадлежности $\mu^j_{X_i} : U_i \to [0,1]$ отражают биективное соответствие между значениями универсума $u \in U_i$ и действительными числами $\mu^j_{X_i} \in [0,1]$. Они определяют семантику нечёткого множества $j \in \{Low, Average, High\}$.

Элементы множества $T(X_i)$ представляют собой названия нечётких множеств, характеризующих показатель X_i.

Качество государственной закупки оценивается интегральным показателем Y,

также представленным лингвистической переменной $< Y, T(Y)\ U_Y, \mu_{Y_i} >$ с множеством атомарных термов $T(Y) = \{Low, Average, High\}$, универсальным множеством U_Y и набором $\mu_Y = \{\mu_Y^j\}_{j=1}^3$ функций принадлежностей $\mu_Y^j : U_Y \to [0,1]$. Для оценки качества государственных закупок построена логико-лингвистическая модель Quality, программно реализованная в системе MATLAB пакета Fuzzy Logic Toolbox (рис.2).

Приведём формальное описание лингвистических переменных x_1, x_2, x_3, x_4, участвующих в отображении $\Omega : X \to Y$. В результате экспертного опроса определено, что лингвистическая переменная x_1, представляющая собой характеристику начальной цены контракта, принимает значения в интервале от 0 до 20 миллионов рублей. В связи с этим она задана на универсальном множестве в виде отрезка U_i = [0, 20]. Характеристика начальной цены контракта «низкая» принята в пределах от 0 до 4 миллионов рублей, «средняя» – в пределах от 6 до 10 миллионов рублей и «высокая» – от 11 до 20 миллионов рублей. В связи с этим соответствующие качественным характеристикам нечёткие множества с названиями *Low*, *Average*, *High* описываются трапецеидальными функциями принадлежности $\mu_{X_i}^{Low}(0,0,5,20)$, $\mu_{X_i}^{Average}(0,6,10,20)$, $\mu_{X_i}^{High}(0,11,20,20)$:

$$\mu_{X_1}^{Low}(0,0,5,20) = \begin{cases} 0,\ X_1 \le 0; \\ 1,\ 0 < X_i \le 5; \\ \dfrac{20 - X_1}{20 - 5},\ 5 < X_1 \le 20; \\ 0,\ X_1 > 20; \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{X_1}^{Average}(0,6,10,20) = \begin{cases} 0,\ X_1 \le 0; \\ \dfrac{X_1}{6},\ 0 < X_1 \le 6; \\ 1,\ 6 < X_1 \le 10; \\ \dfrac{20 - X_1}{20 - 10},\ 10 < X_1 \le 20; \\ 0,\ X_1 > 20; \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{X_1}^{High}(0,11,20,20) = \begin{cases} 0,\quad X_1 \le 0; \\ \dfrac{X_1}{11},\ 0 < X_1 \le 11; \\ 1,\ 11 < X_1 \le 20 \\ 0,\ X_1 > 20. \end{cases} \quad (3)$$

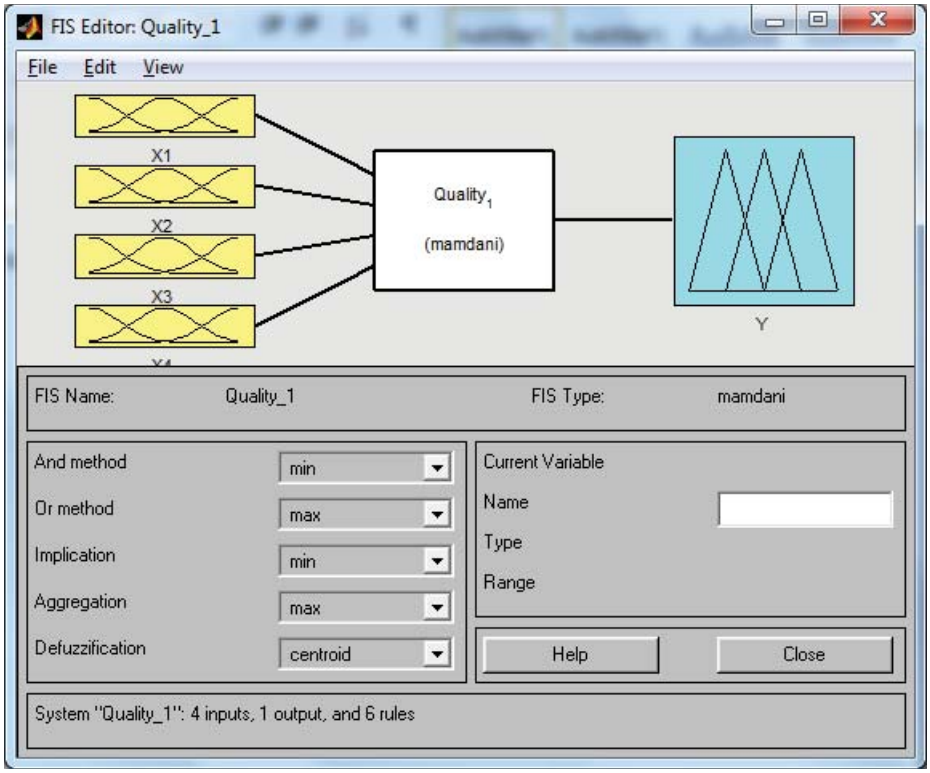

Рис. 2. Модель Quality оценки качества государственных закупок

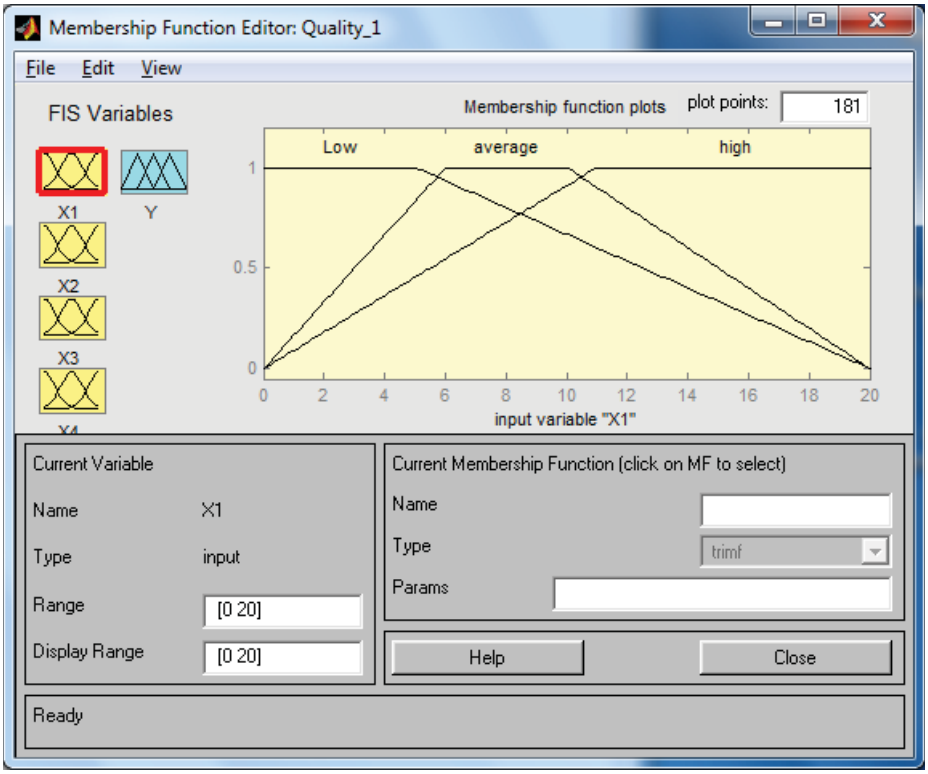

Рис. 3. Графики функций принадлежности нечётких множеств $Low, Average, High$ *лингвистической переменной* x_1

На рисунке 3 приведены графики функций принадлежности нечётких множеств $Low, Average, High$, количественно оценивающих лингвистическую переменную x_1.

Выраженные в качественном виде характеристики $T(X_2)=\{Low, Average, High\}$ лингвистической переменной x_2, представленной кортежем $<x_2, T(X_2)\ U_2, \mu_{X_2}>$, также заданы на универсальном множестве U_2 = [0,20] с набором семантик $\mu_{X_2}=\{\mu_{X_2}^j\}_{j=1}^3$, $\mu_{X_i}^{Low}:U_i \to [0,1]$, $\mu_{X_i}^{Average}:U_i \to [0,1]$, $\mu_{X_i}^{High}:U_i \to [0,1]$ трапецеидального вида. Функции $\mu_{X_i}^{Low}$, $\mu_{X_i}^{Average}$, $\mu_{X_i}^{High}$ описаны аналитическими выражениями, аналогичными выражениям (1),(2) и (3).

Значениями лингвистической переменной $<x_3, T(X_3)\ U_3, \mu_{X_3}>$ являются элементы терм-множества $T(X_3)=\{Low, Average, High\}$, количественно определённые на универсуме $U_3=[0,10]$. Эти значения задаются в процентах. В соответствии с результатами экспертного опроса показатель *Low* отвечает количественным значениям из интервала [0, 2], показатель *Average* – из интервала [3,5], а показатель *High* – из интервала [6,10]. Формальные выражения функций принадлежности $\mu_{X_i}^{Low}(0,0,2,10)$, $\mu_{X_i}^{Average}(0,3,5,10)$, $\mu_{X_i}^{High}(0,6,10,10)$ имеют следующий вид:

$$\mu_{X_3}^{Low}(0,0,2,10)=\begin{cases}0, & X_3<0;\\ 1, & 0\le X_3\le 2;\\ \dfrac{10-X_3}{10-2}, & 2<X_3\le 10;\\ 0, & X_3>10;\end{cases}$$

$$\mu_{X_3}^{Average}(0,3,5,10)=\begin{cases}0, & X_3<0;\\ \dfrac{X_3}{3}, & 0\le X_3<3;\\ 1, & 3\le X_3<5;\\ \dfrac{10-X_3}{10-5}, & 5\le X_3\le 10;\\ & X_3>10;\end{cases}$$

$$\mu_{X_3}^{High}(0,6,10,10)=\begin{cases}0, & X_3<0;\\ \dfrac{X_3}{3}, & 0\le X_3<6;\\ 1, & 6\le X_3\le 10;\\ 0, & X_3>10.\end{cases}$$

Интегральный показатель Y качества государственных закупок задаётся на множестве атомарных термов $T(Y) = \{Low, Average, High\}$ и описывается лингвистической переменной $< Y, T(Y)\ U_Y, \mu_{Y_i} >$. Значения этой переменной представляют собой нечёткие множества с семантикой в виде функций принадлежности $\mu_Y^{Low}(0,0,3,10)$, $\mu_Y^{Average}(0,4,7,10)$, $\mu_{X_i}^{High}(0,8,10,10)$ на универсуме $U_Y =$ [0,10]. Интегральный показатель качества государственных закупок Y оценивается по десяти-бальной шкале. Функции принадлежности составлены на базе результатов экспертного опроса и определены выражениями:

$$\mu_Y^{Low}(0,0,3,10) = \begin{cases} 0, & Y < 0; \\ 1, & 0 \le Y < 3; \\ \dfrac{10-Y}{10-3}, & 3 \le Y < 10; \\ 1, & Y > 10; \end{cases}$$

$$\mu_Y^{Average}(0,4,7,10) = \begin{cases} 0, & Y < 0; \\ \dfrac{Y}{4}, & 0 \le Y < 4; \\ 1, & 4 \le Y < 7; \\ \dfrac{10-Y}{10-7}, & 7 \le Y \le 10; \\ & Y > 10; \end{cases}$$

$$\mu_Y^{High}(0,8,10,10) = \begin{cases} 0, & Y < 0; \\ \dfrac{Y}{8}, & 0 \le Y < 8; \\ 1, & 8 \le Y \le 10; \\ 0, & Y > 10. \end{cases}$$

Результаты исследования и их обсуждение

Отображение $\Omega : X \to Y$, реализующее решатель экспертной системы, программно воплощено с помощью системе MATLAB пакета Fuzzy Logic Toolbox. При этом зависимость между качественно выраженными показателями $Y = \Omega(x_1, x_2, x_3, x_4)$ определялась, исходя из знаний специалистов по управлению государственными закупками, добытых в результате экспертного опроса и описана следующими представленными в вербальной форме продукционными правилами. В настоящей статье приведён пример одного правила вывода:

- если показатели X_1 и X_2 оценивается характеристикой «высокая», – характеристикой «высокая», X_3 и а X_4 оцениваются характеристикой «низкая», то интегральный показатель качества государственных закупок Y оценивается показателем «высокий».

Логическое представление продукционных правил в логико-лингвистической модели оценки качества государственных закупок приведено на рисунке 4.

На основе применения алгоритма Mamdani, на котором базируется отображение $\Omega : X \to Y$, в системе MATLAB пакета Fuzzy Logic Toolbox построена экономико-математическая модель, позволяющая при варьировании значениями вектора $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ определять значения интегрального показателя качества государственных закупок Y. На рисунке 5 приведён интерфейс построенной логико-лингвистической модели Quality. Рисунок демонстрирует пределы изменения переменных $x_1 \in$ [0,20], $x_2 \in$ [0,20], $x_3 \in$ [0,20], $x_4 \in$ [0,20], $Y \in$ [0,20]. На модели Quality проведены эксперименты в результате изменения значений показателей вектора входных характеристик $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$.

Значения интегрального показателя качества государственных закупок Y, соответствующие экспериментальным изменениям, занесены в таблицу 1.

В таблице 1 приведены результаты экспериментов, проведённых на модели Quality.

Таблица 1

Результаты экспериментов на модели Quality.

№	Входные переменные				Выходная переменная
1	x_1	x_2	x_3	x_4	Y
2	1,36	2,62	1,74	2	5,1
3	7,42	4,77	1,74	2	5,78
4	15,9	15,5	2,05	2,92	6,14
5	17,4	18,9	1,14	3,85	6,55

Построенная модель позволяет спланировать эксперимент и определить оптимальные значения показателей качества государственных закупок.

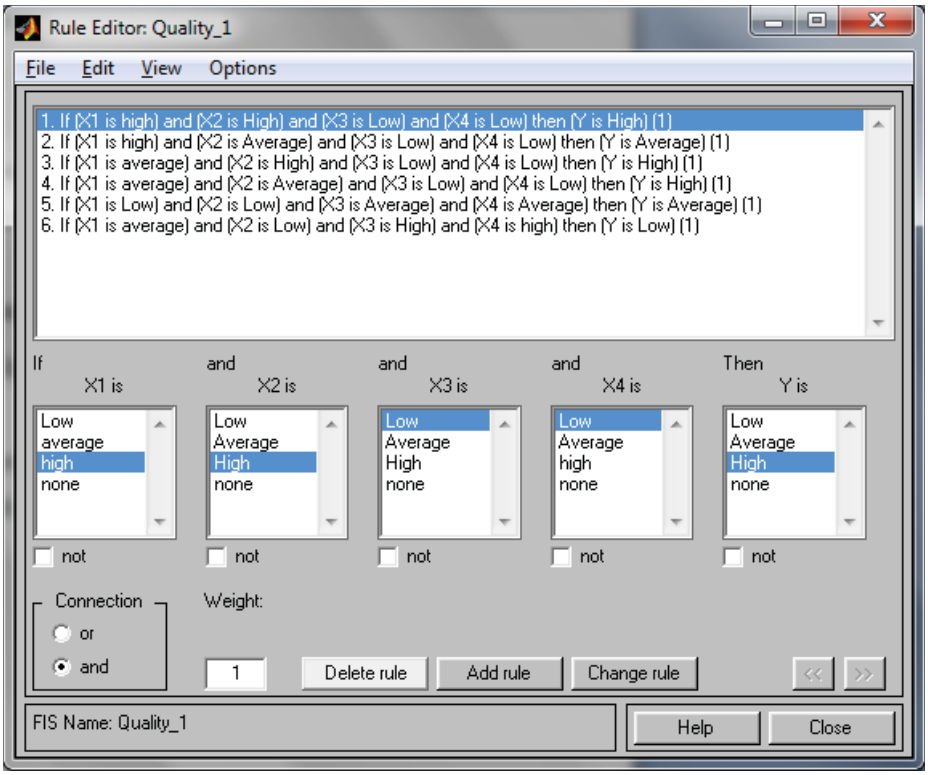

Рис. 4. Продукционные правила оценки качества государственных закупок

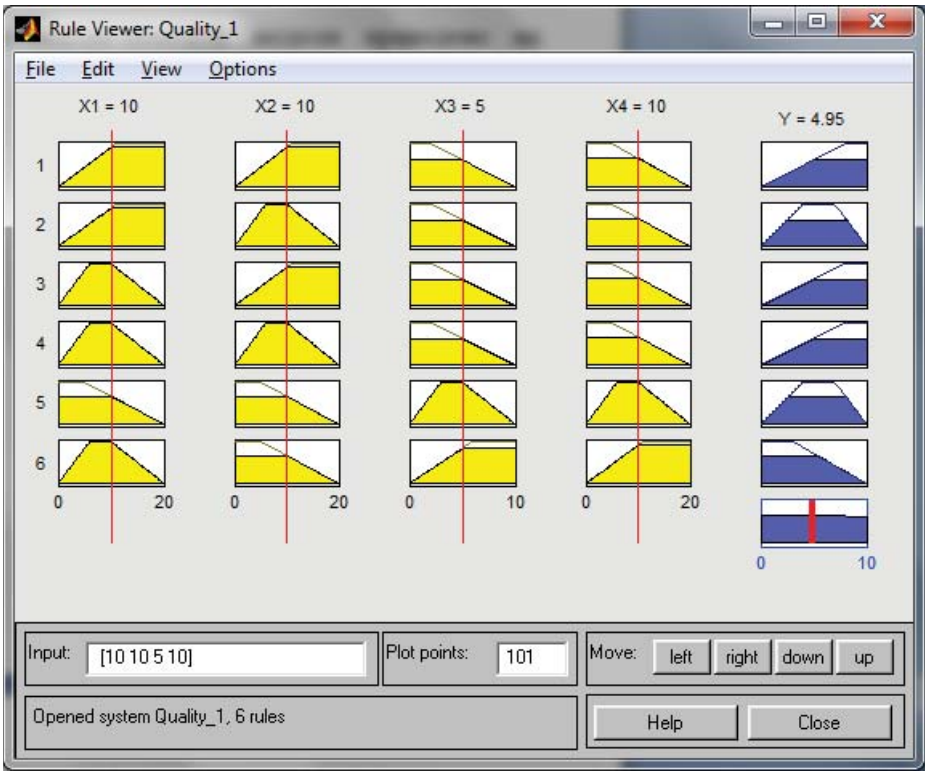

Рис.5. Результат функционирования логико-лингвистической модели Quality

Заключение

Предложенная экспертная система с встроенной в неё логико-лингвистической моделью позволяет на основе формализации и использования знаний специалистов производить оценку качества государственных закупок на основе использования качественно выраженных входных характеристик. В результате проведённых исследований авторами получены следующие результаты, обладающие научной новизной.

1. Предложена структура интеллектуальной экспертной системы, функционирующая на основе формализации и использования знаний специалистов.

2. Построена логико-лингвистическая модель на основе математического аппарата нечёткой логики, позволяющая использовать в процессе принятия решений качественно выраженные показатели.

3. Предложена программная реализация построенной логико-лингвистической модели в системе MATLAB пакета Fuzzy Logic Toolbox.

Библиографический список

1. Белокрылов К.А. Промышленная и закупочная политика государства: проблемы взаимосвязи // Journal of Economic Regulation. – 2016. – Т. 7. – № 4. – С. 138-146.

2. Федеральный закон от 05.04.2013 N 44-ФЗ (ред. от 30.10.2018) О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sudact.ru/law/federalnyi-zakon-ot-05042013-n-44-fz-o/

3. Патласов О. Ю. и др. Нейросетевое моделирование оценки финансового состояния участников коммерческих тендеров и госзакупок // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2014. – № 4 (38). – С. 135-144.

4. Крамин Т.В., Григорьев Р.А., Крамин М.В. К вопросу об оценке экономической эффективности госзакупок в России // Актуальные проблемы экономики и права. – 2017. – № 4. – С. 96-114.

5. Gipaev R.V. Электронные торги и их нечёткое моделирование // Экономика. Бизнес. Информатика. – 2017. – Т. 3. – № 2. – С. 199-202.

6. Белокрылова О.С. Институциональная модернизация системы госзакупок: зоны риска // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки СКАГС. – 2016. – № 4. – С. 21-29.

7. Колпакова Т.А. Моделирование процесса принятия решений при проведении тендеров // Системи обробки інформації. – 2014. – № 2. – С. 228-232.

8. Яковенко И.В. Комплекс экономико-математических моделей регулирования межбюджетных отношений на базе согласования региональных и муниципальных интересов // Научные ведомости белгородского государственного университета. Экономика. Информатика. – 2017. – № 22 (272). – Вып. 44. – С. 83-91.

9. Яковенко И.В. Экономико-математические модели межбюджетного регулирования в стратегиях социально-экономического развития // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки СКАГС. – 2017. – № 3. – С. 144-149.