

УДК 004.91:004.891.2:004.382.75

Ратушняк Юрий Владимирович

Украинская академия печати, Украина, Львов

Аспирант кафедры информационных мультимедийных технологий
(специальность 05.13.06 – информационные технологии)

E-Mail: yurii.ratushniak@gmail.com

Модель «черного ящика» интеллектуальной системы поддержки принятия решений в процессе проектирования электронных изданий для планшетных компьютеров

Аннотация: Проектирование электронных изданий для планшетных компьютеров относительно новая предметная область, а ее формализация имеет важное научно-прикладное значение. Сегодня не существует интеллектуальной системы поддержки принятия решений для этого вида деятельности. Проектировщиков и разработчиков программных средств необходимо обеспечить исходными данными для создания такой системы. В работе предложено решение этой задачи с использованием методов системного анализа и нечеткой логики. Во-первых, создана модель «черного ящика» интеллектуальной системы поддержки принятия решений в процессе проектирования электронных изданий для планшетных компьютеров, во-вторых, проанализированы входы и выходы интеллектуальной системы, в-третьих, рассмотрены граница и внешняя среда системы поддержки принятия решений, в-четвертых, предложено использовать лингвистические переменные с соответствующими термами для описания в виде нечетких множеств параметров проекта по созданию электронных изданий для планшетных компьютеров (входов) и параметров процесса проектирования электронных изданий для планшетных компьютеров (выходов) интеллектуальной системы поддержки принятия решений и, в-пятых, в качестве примера, построен график функции принадлежности нечеткого множества лингвистической переменной «Сложность проектирования электронных изданий для планшетных компьютеров» с использованием метода парных сравнений.

Ключевые слова: «Черный ящик»; внешняя среда системы; входы системы; выходы системы; граница системы; интеллектуальная система; лингвистическая переменная; метод парного сравнения; нечеткое множество; параметры проекта; параметры процесса проектирования; планшетный компьютер; принятие решений; процесс проектирования; терм-множество; функция принадлежности; электронное издание.

Идентификационный номер статьи в журнале 64TVN613

Yurii Ratushniak

Ukrainian Academy of Printing, Ukraine, Lviv

E-Mail: yurii.ratushniak@gmail.com

The «black box» model of intelligent decision support system in the process of designing the electronic editions for tablet computers

Abstract: Designing of electronic editions for tablet computers is a relatively new application domain, and its formalization has important scientific interest and applied relevance. There is no intelligent decision support system for this type of activity today, so we need to provide software developers with input data for the system creating. This paper provides task solution using systems analysis and fuzzy logic methods. First, we have developed the «black box» model of intelligent decision support system in the process of designing the electronic editions for tablet computers. Second, we have analyzed the intelligent system inputs and outputs. Third, we have considered the decision support system boundary and environment. Fourth, we have suggested to use the linguistic variables with appropriate term sets to describe project parameters of electronic editions for tablet computers designing (system inputs) and designing process of electronic editions for tablet computers parameters (system outputs) of intelligent decision support system as fuzzy sets. Fifth, as an example, we have built graph of membership function for fuzzy set of linguistic variable “The designing complexity of electronic editions for tablet computers” using paired comparisons method.

Keyword: «Black box»; system environment; system inputs; system outputs; system boundary; intelligent system; linguistic variable; paired comparison method; fuzzy set; project parameters; designing process parameters; tablet computer; decision making; designing process; term set; membership function; electronic edition.

Identification number of article 64TVN613

По мнению специалистов по разработке информационных программных комплексов, класс прикладных задач, для решения которых необходимы интеллектуальные системы, составляет подавляющее большинство всех задач, возникающих перед обществом. Интеллектуальная система – это один из видов автоматизированных информационных систем, основанных на знаниях. Интеллектуальная система является комплексом программных, лингвистических и логико-математических средств для реализации основной задачи: осуществления поддержки деятельности человека и поиска информации в режиме расширенного диалога на естественном языке. Наиболее распространенными среди интеллектуальных систем являются *интеллектуальные системы поддержки принятия решений (ИСППР)*. Их используют в тех предметных областях, где пользователи системы хотят получить профессиональные рекомендации по поддержке принятия решений своей деятельности. Как правило, такая поддержка заключается в рекомендации системой выбрать некоторую альтернативу из множества альтернатив. Пользователь системы может не согласиться с рекомендациями системы, а принять свое собственное другое решение [4].

Технология ИСППР является одним из наиболее развитых направлений искусственного интеллекта. Исследования в этой области заключаются в разработке автоматизированных интеллектуальных систем, которые требуют логического рассуждения, определенного мастерства и опыта. К ним также относятся задачи принятия решений в такой предметной области как проектирование *электронных изданий (ЭИ)*. Задача, которую необходимо решить – построение конфигурации объекта (в нашем случае ЭИ) при определенных ограничениях.

Таким образом, ИСППР – программный комплекс, который оперирует знаниями в определенной предметной области с целью выработки рекомендаций или решения задачи, чтобы помочь лицам, принимающим решения в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности [4].

Проектирование ЭИ для *планшетных компьютеров (ПлК)* относительно новая предметная область, а ее формализация имеет важное научно-прикладное значение. Сегодня не существует ИСППР для этого вида деятельности. Проектировщиков и разработчиков программных средств необходимо обеспечить исходными данными для создания такой автоматизированной информационной системы.

Важным этапом в продолжении исследования процесса проектирования ЭИ для ПлК [6-8] является постановка задачи построения модели «черного ящика» ИСППР в процессе проектирования ЭИ для ПлК и использования лингвистических переменных для задания ее входов и выходов. В работе предложено решение этих задач с использованием методов системного анализа и нечеткой логики.

При моделировании систем различной степени сложности широко используется известный кибернетический метод «черного ящика» [1], который объединяет четыре модели описания системы, а именно: входов, выходов, границы и внешней среды.

Модель «черного ящика» акцентирует внимание исследователя на взаимодействии системы с внешней средой. В результате целенаправленного функционирования, система влияет на среду за счет целевого продукта, который предназначен для потребления за ее пределами. В модели «черного ящика» этому соответствуют дуги, направленные от системы к внешней среде – выходы системы. Система реализует свое назначение и цель, действуя на внешнюю среду через выходы.

Со своей стороны, внешняя среда оказывает влияние на систему с помощью ресурсного обеспечения, управления и разного рода контролируемых и неконтролируемых факторов, способствующих или препятствующих нормальному функционированию системы.

Такие связи внешней среды с системой называются входами системы. В модели «черного ящика» этому соответствуют дуги, направленные от среды к системе.

Модель называется «черным ящиком», поскольку состав, структура, причинно-следственные связи и механизмы функционирования системы не рассматриваются. В этой модели заданы, фиксируются и перечисляются только входные и выходные связи со средой. Граница системы, на которой сосредоточено внимание исследователя, подчеркивает ее целостность и обособленность, но не изолированность от внешней среды.

Для построения модели типа «черный ящик» нужно описать границу системы, входы и выходы, а также внешнюю среду системы. На практике, простую, на первый взгляд, задачу довольно сложно решить [3].

Первые трудности начинаются в процессе выделения системы из среды, т.е. при определении ее границы. С информационной точки зрения, граница системы – это предел, до которого распространяется и в котором исполняется управляющая информация системы. Построение модели границы системы связано с целью использования системы в метасистеме.

Внешняя среда системы – это совокупность всех объектов вне границы системы, изменение свойств которых влияет на систему, а также тех объектов, чьи свойства изменяются в результате поведения системы. Выделяет среду для системы (или систему из среды) исследователь, который отделяет (ограничивает) объекты, включаемые в систему от остальных, руководствуясь определенными целевыми критериями. При построении модели среды из всего множества объектов, находящихся вне границы системы, выделяют наиболее важные с точки зрения активности взаимодействия с системой через входы и выходы.

Любая система имеет практически бесконечное количество связей с внешней средой. При построении модели «черного ящика» исследователь отбирает из этого множества связей конечное число для включения в перечень входов и выходов. Критерием отбора при этом является целевое назначение модели, существенность той или иной связи по отношению к цели. Связи между системой и внешней средой существуют независимо от решения исследователя о включении их в результирующую модель «черного ящика», поэтому ошибки, допущенные при формировании моделей входов и выходов, могут иметь в дальнейшем непредсказуемые последствия.

Модель типа «черный ящик», рассматривается как первый этап моделирования объекта, имеет важное самостоятельное значение. Во многих случаях достаточным является содержательное описание входов и выходов. Кроме того, моделью «черного ящика» придется ограничиться, если по разным причинам отсутствует информация о внутреннем строении и состоянии анализируемой системы [5].

Цель создания модели «черного ящика» (рис. 1) ИСППР в процессе проектирования ЭИ для ПлК – обеспечение проектировщиков и разработчиков программных продуктов исходными данными для создания такой системы.

Граница ИСППР в процессе проектирования ЭИ для ПлК – интерфейс пользователя соответствующего программного комплекса.

Внешнюю среду ИСППР в процессе проектирования ЭИ для ПлК рассмотрим с учетом того, что исследователь относит себя к внешней среде, а потому представляет систему как полностью изолированную от среды, строит замкнутые модели. В таком случае среда не будет играть роли при исследовании модели, хотя сможет влиять на ее формирование. Таким образом, внешняя среда ИСППР в процессе проектирования ЭИ для ПлК – этапы процесса проектирования ЭИ для ПлК, а именно: анализ условий использования и требований пользователей ЭИ для ПлК, создание информационного наполнения ЭИ для ПлК, разработка

проектных решений, соответствующих требованиям пользователей ЭИ для ПлК, реализация альтернативных проектных решений в виде интерактивных образцов ЭИ для ПлК разного уровня проработки и детализации, оценка соответствия проекта по созданию ЭИ для ПлК установленным требованиям.

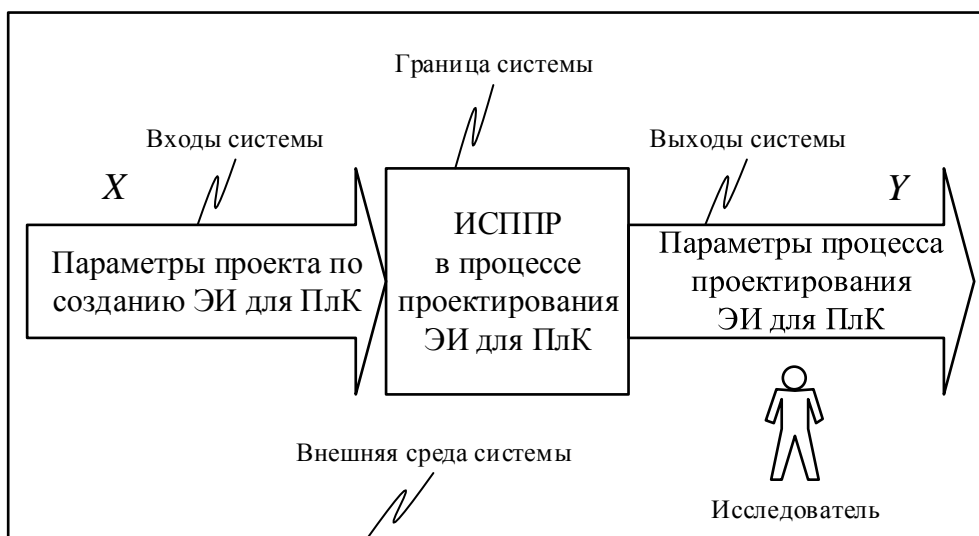


Рис. 1. Общий вид модели «черного ящика» интеллектуальной системы поддержки принятия решений в процессе проектирования электронных изданий для планшетных компьютеров

В данной работе сосредоточим внимание на входах и выходах ИСППР в процессе проектирования ЭИ для ПлК.

Формализуя модель «черного ящика» мы получаем в результате два множества входных и выходных переменных (рис. 2).

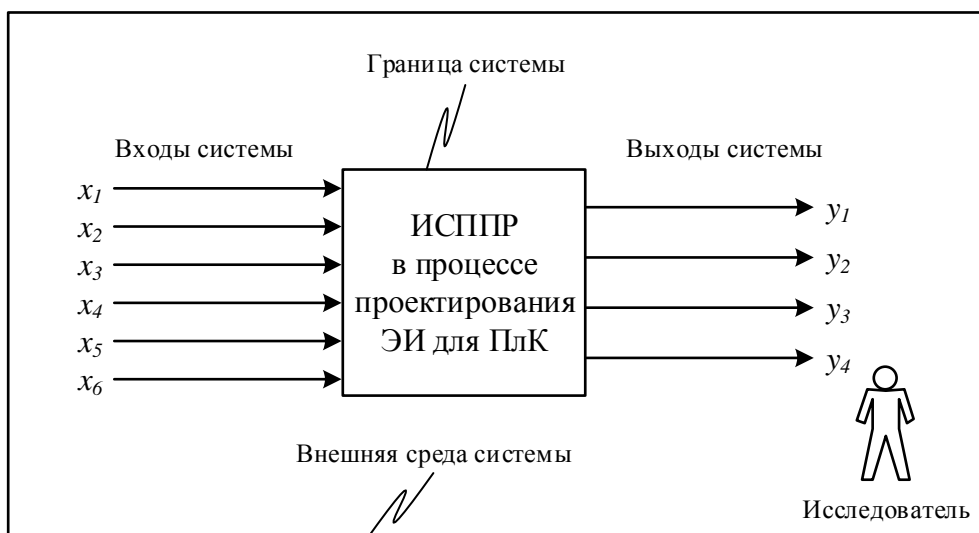


Рис. 2. Детализированный вид модели «черного ящика» интеллектуальной системы поддержки принятия решений в процессе проектирования электронных изданий для планшетных компьютеров

Декомпозицию входов системы (X – параметры проекта по созданию ЭИ для ПлК) представим в виде множества из шести элементов:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}, \quad (1)$$

где x_1 – сложность проектирования ЭИ для ПлК;

x_2 – цели и задачи проекта по созданию ЭИ для ПлК с необходимым уровнем качества;

x_3 – ресурсы проекта по созданию ЭИ для ПлК;

x_4 – стадии проекта по созданию ЭИ для ПлК;

x_5 – организация процесса проектирования, свойственная команде проекта по созданию ЭИ для ПлК;

x_6 – риски, связанные с проектом по созданию ЭИ для ПлК [10].

Декомпозиция выходов системы (Y – параметры процесса проектирования ЭИ для ПлК) включает в себя четыре элемента:

$$Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}, \quad (2)$$

где y_1 – уровень строгости процесса проектирования ЭИ для ПлК;

y_2 – вид проектной деятельности, выполняемый в процессе проектирования ЭИ для ПлК;

y_3 – итерации видов проектной деятельности в процессе проектирования ЭИ для ПлК;

y_4 – методы и аппаратно-программные средства, используемые в процессе проектирования ЭИ для ПлК [10].

Параметры проекта по созданию ЭИ для ПлК (1) и параметры процесса проектирования ЭИ для ПлК (2) могут быть заданы как лингвистические переменные с соответствующими термами для оценки в виде нечетких множеств.

Лингвистической называется переменная, значение которой определяется через набор вербальных (словесных) характеристик некоторого свойства [9].

Лингвистические значения нечетко определяют сложившуюся ситуацию, поэтому терм лингвистической переменной должен характеризоваться выбранной степенью – функцией принадлежности $\mu: U \rightarrow [0,1]$, которая каждому элементу u универсального множества U ставит в соответствие значение уверенности (возможности) о принадлежности его к некоторому значению $s \in [0,1]$.

Для ввода в компьютер информации о лингвистической переменной и ее терм-множестве их необходимо представить в форме, удобной для работы на компьютере. Лингвистическую переменную задают через конечную последовательность элементов множества (кортеж) [2]:

$$\langle A, T(A), U, G, M \rangle, \quad (3)$$

где A – название лингвистической переменной;

$T(A)$ – базовое терм-множество лингвистической переменной (это название нечетких переменных, областью определения которых является четкое множество U (универсальным множеством может быть множество альтернатив), охватывающее всю проблемную область);

G – синтаксическая процедура (в частности формальная грамматика), описывающая процесс образования новых осмысленных для заданной задачи управления значений лингвистической переменной, исходя из ее терм-множеств. Множество $T^0 = T \cup G(T)$ назовем расширением терм-множества лингвистической переменной;

M – семантическая процедура, позволяющая превратить каждое новое значение лингвистической переменной, образованное процедурой G , в нечеткую переменную, т. е.

путем формирования соответствующего нечеткого множества приписать ему некоторую семантику.

Рассмотрим, например, вход x_1 – сложность проектирования электронных изданий для планшетных компьютеров [7].

Кортеж лингвистической переменной (3) будет иметь следующий общий вид:

$$\langle A^{x_1}, T(A^{x_1}), U^{x_1}, G^{x_1}, M^{x_1} \rangle. \quad (4)$$

В условии (4) название лингвистической переменной

$$A^{x_1} = \text{«Сложность проектирования ЭИ для ПЛК»}. \quad (5)$$

Базовое терм-множество $T(A^{x_1})$ лингвистической переменной (5) A^{x_1} состоит из трех элементов:

$$T(A^{x_1}) = \{H, C, B\} = \{T_1^{x_1}, T_2^{x_1}, T_3^{x_1}\} = \{T_t^{x_1}\}_{t=1}^3, \quad (6)$$

где $T_1^{x_1}$ – Низкая (H), $T_2^{x_1}$ – Средняя (C), $T_3^{x_1}$ – Высокая (B).

Универсальное множество U^{x_1} задано множеством альтернатив из шести групп ЭИ для ПЛК [7]:

$$\begin{aligned} U^{x_1} &= \{\text{ЭИ}_{I\text{Гр.}}^{\text{ПЛК}}, \text{ЭИ}_{II\text{Гр.}}^{\text{ПЛК}}, \text{ЭИ}_{III\text{Гр.}}^{\text{ПЛК}}, \text{ЭИ}_{IV\text{Гр.}}^{\text{ПЛК}}, \text{ЭИ}_{V\text{Гр.}}^{\text{ПЛК}}, \text{ЭИ}_{VI\text{Гр.}}^{\text{ПЛК}}\} = \\ &= \{I, II, III, IV, V, VI\} = \{u_1^{x_1}, u_2^{x_1}, u_3^{x_1}, u_4^{x_1}, u_5^{x_1}, u_6^{x_1}\} = \{u_n^{x_1}\}_{n=1}^6. \end{aligned} \quad (7)$$

G^{x_1} – процедура перебора элементов множества $T(A^{x_1})$.

M^{x_1} – процедура экспертного опроса.

Задача построения функции принадлежности сформулирована следующим образом.

Дано два множества: (6) – множество термов $T(A^{x_1})$ и (7) – универсальное множество U^{x_1} . Нечеткие множества \tilde{I}^{x_1} для задания лингвистических термов $T(A^{x_1})$ на универсальном множестве U^{x_1} имеют следующий вид:

$$\tilde{I}^{x_1} = \{\tilde{I}_H^{x_1}, \tilde{I}_C^{x_1}, \tilde{I}_B^{x_1}\} = \left\{ \left\{ \frac{\mu_H(u_n^{x_1})}{u_n^{x_1}} \right\}_{n=1}^6, \left\{ \frac{\mu_C(u_n^{x_1})}{u_n^{x_1}} \right\}_{n=1}^6, \left\{ \frac{\mu_B(u_n^{x_1})}{u_n^{x_1}} \right\}_{n=1}^6 \right\}, \quad (8)$$

$$\text{где } \tilde{I}_H^{x_1} = \left\{ \frac{\mu_H(u_1^{x_1})}{u_1^{x_1}}, \frac{\mu_H(u_2^{x_1})}{u_2^{x_1}}, \frac{\mu_H(u_3^{x_1})}{u_3^{x_1}}, \frac{\mu_H(u_4^{x_1})}{u_4^{x_1}}, \frac{\mu_H(u_5^{x_1})}{u_5^{x_1}}, \frac{\mu_H(u_6^{x_1})}{u_6^{x_1}} \right\}; \quad (9)$$

$$\tilde{I}_C^{x_1} = \left\{ \frac{\mu_C(u_1^{x_1})}{u_1^{x_1}}, \frac{\mu_C(u_2^{x_1})}{u_2^{x_1}}, \frac{\mu_C(u_3^{x_1})}{u_3^{x_1}}, \frac{\mu_C(u_4^{x_1})}{u_4^{x_1}}, \frac{\mu_C(u_5^{x_1})}{u_5^{x_1}}, \frac{\mu_C(u_6^{x_1})}{u_6^{x_1}} \right\}; \quad (10)$$

$$\tilde{I}_B^{x_1} = \left\{ \frac{\mu_B(u_1^{x_1})}{u_1^{x_1}}, \frac{\mu_B(u_2^{x_1})}{u_2^{x_1}}, \frac{\mu_B(u_3^{x_1})}{u_3^{x_1}}, \frac{\mu_B(u_4^{x_1})}{u_4^{x_1}}, \frac{\mu_B(u_5^{x_1})}{u_5^{x_1}}, \frac{\mu_B(u_6^{x_1})}{u_6^{x_1}} \right\}. \quad (11)$$

Нужно определить степень принадлежности элементов множества (7) U^{x_1} к элементам из множества (6) $T(A^{x_1})$, то есть найти $\mu_{T_t^{x_1}}(u_n^{x_1})$ для всех $t = \overline{1,3}$ и $n = \overline{1,6}$.

Чтобы построить графики функций принадлежности нечетких термов воспользуемся методом парных сравнений, выполняемых одним экспертом [3]. Кратко рассмотрим его [6, 8].

Для каждой пары элементов универсального множества (7) U^{x_1} эксперт оценивает преимущество одного элемента над другим по отношению к свойствам нечеткого множества \tilde{I}^{x_1} . Такие парные сравнения удобно представить в виде матрицы:

$$S_{(T_t^{x_1} A^{x_1})} = \begin{pmatrix} u_1^{x_1} & u_2^{x_1} & \dots & u_n^{x_1} \\ u_1^{x_1} & s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ u_2^{x_1} & s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_n^{x_1} & s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nn} \end{pmatrix}, \quad (12)$$

где $t = \overline{1, 3}$, $n = \overline{1, 6}$, s_{ij} – уровень преимущества элемента $u_i^{x_1}$ над $u_j^{x_1}$ ($i, j = \overline{1, 6}$), что определяется по девятибалльной шкале Саати [5]: 1 – если преимущество элемента $u_i^{x_1}$ над элементом $u_j^{x_1}$ отсутствует; 3 – если преимущество $u_i^{x_1}$ над $u_j^{x_1}$ слабое; 5 – если преимущество $u_i^{x_1}$ над $u_j^{x_1}$ существенное; 7 – если преимущество $u_i^{x_1}$ над $u_j^{x_1}$ явное; 9 – если преимущество $u_i^{x_1}$ над $u_j^{x_1}$ абсолютное; 2, 4, 6, 8 – промежуточные сравнительные оценки.

Матрица парных сравнений $S_{(T_t^{x_1} A^{x_1})}$ – диагональная ($s_{ij} = 1$, $i, j = \overline{1, 6}$) и обратно симметричная ($s_{ij} = 1/s_{ji}$, $i, j = \overline{1, 6}$).

Степени принадлежности принимаем равными соответствующим координатам собственного вектора

$$\bar{w}_{(T_t^{x_1} A^{x_1})} = \left(w_1^{(T_t^{x_1} A^{x_1})}, w_2^{(T_t^{x_1} A^{x_1})}, \dots, w_n^{(T_t^{x_1} A^{x_1})} \right)^T \quad (13)$$

матрицы парных сравнений $S_{(T_t^{x_1} A^{x_1})}$:

$$\mu_{T_t^{x_1}}(u_n^{x_1}) = w_n^{(T_t^{x_1} A^{x_1})} \text{ для всех } t = \overline{1, 3} \text{ и } n = \overline{1, 6}. \quad (14)$$

Собственный вектор $\bar{w}_{(T_t^{x_1} A^{x_1})}$ матрицы парных сравнений $S_{(T_t^{x_1} A^{x_1})}$ находим из следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} S_{(T_t^{x_1} A^{x_1})} \bar{w}_{(T_t^{x_1} A^{x_1})} = \lambda_{(T_t^{x_1} A^{x_1})}^{max} \bar{w}_{(T_t^{x_1} A^{x_1})}, \\ w_1^{(T_t^{x_1} A^{x_1})} + w_2^{(T_t^{x_1} A^{x_1})} + \dots + w_n^{(T_t^{x_1} A^{x_1})} = 1, \end{cases} \quad (15)$$

где $\lambda_{(T_t^{x_1} A^{x_1})}^{max}$ максимальное собственное число матрицы $S_{(T_t^{x_1} A^{x_1})}$.

Необходимые вычисления по методу парных сравнений ((12) – (15)) проводим в прикладной программе для работы с таблицами Microsoft Excel [6].

Найдем функцию принадлежности нечеткого множества $\tilde{I}_H^{x_1}$ – «Низкая сложность проектирования ЭИ для ПлК», заданной на универсальном множестве $U^{x_1} = \{u_n^{x_1}\}_{n=1}^6$.

$$S_{(H A^{x_1})} = \begin{matrix} & u_1^{x_1} & u_2^{x_1} & u_3^{x_1} & u_4^{x_1} & u_5^{x_1} & u_6^{x_1} \\ \begin{matrix} u_1^{x_1} \\ u_2^{x_1} \\ u_3^{x_1} \\ u_4^{x_1} \\ u_5^{x_1} \\ u_6^{x_1} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 5 & 9 & 3 \\ 1 & 1 & 2 & 5 & 9 & 3 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 3 & 7 & 2 \\ 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 & 5 & 1/2 \\ 1/9 & 1/9 & 1/7 & 1/5 & 1 & 1/6 \\ 1/3 & 1/3 & 1/2 & 2 & 6 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}.$$

$$\lambda_{(H A^{x_1})}^{max} = 6,184; CR = 0,028.$$

$$\mu_H(u_n^{x_1}) = \overline{w}_{(H A^{x_1})} = (0,305; 0,305; 0,178; 0,072; 0,025; 0,114)^T, n = \overline{1,6}.$$

При значении индекса согласованности $CR \leq 0,1$ уровень согласованности матрицы парных сравнений $S_{(T_t^{x_1} A^{x_1})}$ удовлетворительный [3].

Для нормализации полученных результатов разделим все степени принадлежности на максимальное значение. Результирующее нечеткое множество (9) $\tilde{I}_H^{x_1}$ – «Низкая сложность проектирования ЭИ для ПлК» будет выглядеть следующим образом:

$$\tilde{I}_H^{x_1} = \left\{ \frac{1,000}{\tilde{\text{ЭИ}}_{I\text{гр.}}^{\text{ПлК}}}, \frac{1,000}{\tilde{\text{ЭИ}}_{II\text{гр.}}^{\text{ПлК}}}, \frac{0,582}{\tilde{\text{ЭИ}}_{III\text{гр.}}^{\text{ПлК}}}, \frac{0,374}{\tilde{\text{ЭИ}}_{IV\text{гр.}}^{\text{ПлК}}}, \frac{0,235}{\tilde{\text{ЭИ}}_{V\text{гр.}}^{\text{ПлК}}}, \frac{0,082}{\tilde{\text{ЭИ}}_{VI\text{гр.}}^{\text{ПлК}}} \right\}.$$

Аналогично вычислим функцию принадлежности нечеткого множества $\tilde{I}_C^{x_1}$ – «Средняя сложность проектирования ЭИ для ПлК».

$$S_{(C A^{x_1})} = \begin{matrix} & u_1^{x_1} & u_2^{x_1} & u_3^{x_1} & u_4^{x_1} & u_5^{x_1} & u_6^{x_1} \\ \begin{matrix} u_1^{x_1} \\ u_2^{x_1} \\ u_3^{x_1} \\ u_4^{x_1} \\ u_5^{x_1} \\ u_6^{x_1} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1/2 & 1/5 & 2 & 1/3 \\ 1 & 1 & 1/2 & 1/5 & 2 & 1/3 \\ 2 & 2 & 1 & 1/2 & 3 & 1/2 \\ 5 & 5 & 2 & 1 & 5 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1/5 & 1 & 1/6 \\ 3 & 3 & 2 & 1/2 & 6 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}.$$

$$\lambda_{(C A^{x_1})}^{max} = 6,096; CR = 0,015.$$

$$\mu_C(u_n^{x_1}) = \overline{w}_{(C A^{x_1})} = (0,083; 0,083; 0,157; 0,371; 0,050; 0,256)^T, n = \overline{1,6}.$$

Нечеткое множество (10) $\tilde{I}_C^{x_1}$ в нормализованном виде:

$$\tilde{I}_C^{x_1} = \left\{ \frac{0,224}{\tilde{ЭИ}_{Iгр.}^{ПлК}}, \frac{0,224}{\tilde{ЭИ}_{IIгр.}^{ПлК}}, \frac{0,424}{\tilde{ЭИ}_{IIIгр.}^{ПлК}}, \frac{0,690}{\tilde{ЭИ}_{IVгр.}^{ПлК}}, \frac{1,000}{\tilde{ЭИ}_{Vгр.}^{ПлК}}, \frac{0,135}{\tilde{ЭИ}_{VIгр.}^{ПлК}} \right\}.$$

Функцию принадлежности нечеткого множества $\tilde{I}_B^{x_1}$ – «Высокая сложность проектирования ЭИ для ПлК» получаем по аналогии с двумя предыдущими.

$$S_{(B \ A^{x_1})} = \begin{matrix} & u_1^{x_1} & u_2^{x_1} & u_3^{x_1} & u_4^{x_1} & u_5^{x_1} & u_6^{x_1} \\ \begin{matrix} u_1^{x_1} \\ u_2^{x_1} \\ u_3^{x_1} \\ u_4^{x_1} \\ u_5^{x_1} \\ u_6^{x_1} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1/2 & 1/5 & 1/9 & 1/3 \\ 1 & 1 & 1/2 & 1/5 & 1/9 & 1/3 \\ 2 & 2 & 1 & 1/3 & 1/7 & 1/2 \\ 5 & 5 & 3 & 1 & 1/5 & 2 \\ 9 & 9 & 7 & 5 & 1 & 6 \\ 3 & 3 & 2 & 1/2 & 1/6 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}.$$

$$\lambda_{(H \ A^{x_1})}^{max} = 6,096; CR = 0,015.$$

$$\mu_B(u_n^{x_1}) = \overline{w}_{(B \ A^{x_1})} = (0,043; 0,043; 0,073; 0,190; 0,536; 0,115)^T, n = \overline{1,6}.$$

Нечеткое множество (11) $\tilde{I}_B^{x_1}$ после нормирования:

$$\tilde{I}_B^{x_1} = \left\{ \frac{0,079}{\tilde{ЭИ}_{Iгр.}^{ПлК}}, \frac{0,079}{\tilde{ЭИ}_{IIгр.}^{ПлК}}, \frac{0,137}{\tilde{ЭИ}_{IIIгр.}^{ПлК}}, \frac{0,215}{\tilde{ЭИ}_{IVгр.}^{ПлК}}, \frac{0,355}{\tilde{ЭИ}_{Vгр.}^{ПлК}}, \frac{1,000}{\tilde{ЭИ}_{VIгр.}^{ПлК}} \right\}.$$

Используя значения, полученные после проведенных выше расчетов для функций принадлежности нечетких множеств $\tilde{I}_H^{x_1}, \tilde{I}_C^{x_1}, \tilde{I}_B^{x_1}$, построим график (рис. 3) функции принадлежности нечеткого множества \tilde{I}^{x_1} – «Сложность проектирования ЭИ для ПлК» (8).

Таким образом, в результате исследования создана модель «черного ящика» интеллектуальной системы поддержки принятия решений в процессе проектирования электронных изданий для планшетных компьютеров, а именно: проанализированы входы и выходы интеллектуальной системы, рассмотрены граница и внешняя среда системы поддержки принятия решений. Предложено использовать лингвистические переменные с соответствующими термами для описания в виде нечетких множеств параметров проекта по созданию электронных изданий для планшетных компьютеров (входов) и параметров процесса проектирования электронных изданий для планшетных компьютеров (выходов) интеллектуальной системы поддержки принятия решений. В качестве примера, построен график функции принадлежности нечеткого множества лингвистической переменной «Сложность проектирования ЭИ для ПлК» с использованием метода парных сравнений.

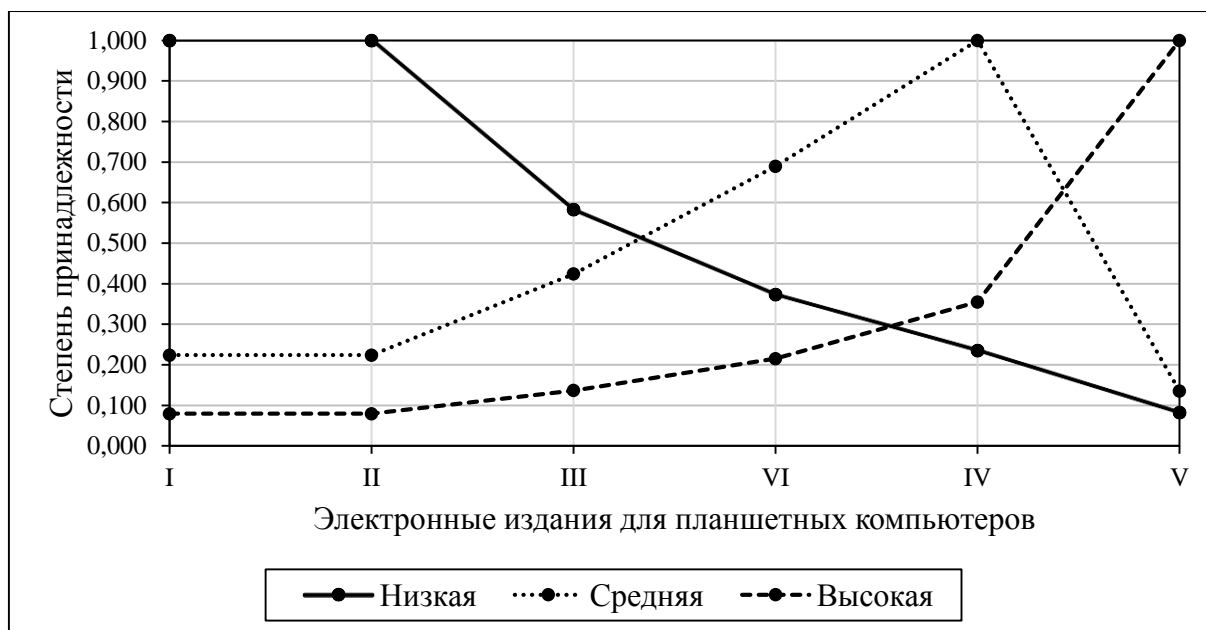


Рис. 3. График функции принадлежности нечеткого множества \tilde{I}^{x_1} – «Сложность проектирования электронных изданий для планшетных компьютеров»

Актуальным продолжением этого исследования должна стать разработка нечеткой экспертной системы для поддержки принятия решений в процессе проектирования ЭИ для ПлК и дальнейшая реализация ИСППР в виде соответствующего программного продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Енциклопедія кібернетики : у 2 т. / В. М. Глушков (відп. ред.) та ін. — К.: Голов. ред. Укр. Радян. Енцикл., 1973.
2. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде; [пер. с англ.]. — М.: Мир, 1976. — 164 с.
3. Катренко А. В. Системний аналіз : підруч. / А. В. Катренко. — Львів: Новий Світ-2000, 2013. — 396 с.
4. Литвин В. В. Бази знань інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень : моногр. / В. В. Литвин. — Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2011. — 240 с.
5. Лямец В. И. Системный анализ. Вводный курс / В. И. Лямец, А. Д. Тевяшев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Х. : ХНУРЭ, 2004. — 448 с.
6. Ратушняк Ю. В. Синтез моделі критеріїв вибору мобільної апаратно-програмної платформи в процесі проектування електронного видання для планшетного комп'ютера / Ю. В. Ратушняк // Поліграфія і видавнича справа : наук.-техн. зб. — Львів: Укр. акад. друкарства, 2012. — № 3 (59). — С. 42-52.
7. Ратушняк Ю. В. Класифікація електронних видань для планшетних комп'ютерів / Ю. В. Ратушняк // Наукові записки : наук.-техн. зб. — Львів: Укр. акад. друкарства, 2012. — № 4 (41). — С. 165-176.
8. Ратушняк Ю. В. Оптимізація моделі факторів процесу проектування електронного видання для планшетного комп'ютера / Ю. В. Ратушняк // Технологія і техніка друкарства : зб. наук. пр. — К.: ВПІ НТУУ «КПІ», 2012. — № 4 (38). — С. 59-65.
9. Сявавко М. С. Математика прихованих можливостей : навч. посіб. / М. С. Сявавко. — Острог: Вид-во НУ «Острозька академія», 2011. — 396 с.
10. Hartson R. The UX Book: Process and guidelines for ensuring a quality user experience / R. Hartson, P. Pyla. — Morgan Kaufmann, 2012. — 968 p.

Рецензент: Тимченко Александр Владимирович, Украинская академия печати, Украина, Львов. Профессор кафедры автоматизации и компьютерных технологий, доктор технических наук.

REFERENCES

1. Entsyklopediia kibernetiky : u 2 t. / V. M. Hlushkov (vidp. red.) ta in. — K.: Holov. red. Ukr. Radian. Entsykl., 1973.
2. Zade L. A. Ponjatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinjatiyu priblizhennykh reshenij / L. A. Zade; [per. s angl.]. — M.: Mir, 1976. — 164 s.
3. Katrenko A. V. Systemnyi analiz : pidruch. / A. V. Katrenko. — Lviv: Novyi Svit-2000, 2013. — 396 s.
4. Lytvyn V. V. Bazy znan intelektualnykh system pidtrymky pryiniattia rishen : monohr. / V. V. Lytvyn. — Lviv: Vyd-vo Lviv. politekhniky, 2011. — 240 s.
5. Ljamec V. I. Sistemnyj analiz. Vvodnyj kurs / V. I. Ljamec, A. D. Tevjashev. — 2-e izd., pererab. i dop. — H.: HNURJe, 2004. — 448 s.
6. Ratushniak Yurii The synthesis of the model of criteria of selection of mobile hardware and software platform during the process of designing the electronic edition for tablet computer / Yurii Ratushniak // Polihrafiia i vydavnycha sprava : nauk.-tekhn. zb. — Lviv: Ukr. akad. drukarstva, 2012. — № 3 (59). — S. 42-52.
7. Ratushniak Yurii The classification of electronic editions for tablet computers / Yurii Ratushniak // Naukovi zapysky : nauk.-tekhn. zb. — Lviv: Ukr. akad. drukarstva, 2012. — № 4 (41). — S. 165-176.
8. Ratushniak Yurii The optimization model of factors of the process of designing the electronic edition for tablet computer / Yurii Ratushniak // Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva : zb. nauk. pr. — K.: VPI NTUU «KPI», 2012. — № 4 (38). — S. 59-65.
9. Siavavko M. S. Matematyka prykhovanykh mozhlyvostei : navch. posib. / M. S. Siavavko. — Ostroh: Vyd-vo NU «Ostrozka akademiia», 2011. — 396 s.
10. Hartson R. The UX Book: Process and guidelines for ensuring a quality user experience / R. Hartson, P. Pyla. — Morgan Kaufmann, 2012. — 968 p.