

*Запропоновано використання методу побудови дерева нечіткого логічного висновку для вирішення завдання ергономічної експертизи*

*Ключові слова: ергономіка, система «людина-машина», дизайн-ергономічна експертиза*

*Предложено использование метода построения дерева нечёткого логического вывода для решения задачи эргономической экспертизы*

*Ключевые слова: эргономика, система «человек-машина», дизайн-эргономическая экспертиза*

*Proposed use the method of constructing a tree of fuzzy inference to solve the ergonomic expertise problem*

*Keywords: ergonomics, system “man-machine interface”, design-ergonomic expertise*

# МОДЕЛЬ ДЛЯ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ МОДУЛЕЙ

**Е. А. Лавров**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой

Кафедра информационных систем в менеджменте  
Национальный университет биоресурсов и  
природопользования Украины  
ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, 03041  
Контактный тел.: 050-691-37-33  
E-mail: prof\_lavrov@mail.ru

**Н. Л. Барченко**

Ассистент

Кафедра кибернетики и информатики  
Сумской национальный аграрный университет  
ул. Кирова, 160, г. Сумы, 40021  
Контактный тел.: 099-975-27-11  
E-mail: surock@mail.ru

## 1. Введение

В настоящее время во многих вузах ведётся активная разработка и наполнение библиотеки электронных учебных модулей (ЭУМ). Многие вузы пошли по пути использования технологии открытых мультимедиа систем [1], когда отдельным фрагментам учебного материала могут назначаться вариативы. Для внедрения разработанных ЭУМ в учебный процесс необходима эргономическая экспертиза предлагаемых модулей. Существуют различные направления в оценке качества электронных ресурсов. Так, например, в Новосибирском государственном техническом университете [2] ведутся работы по дизайн-эргономической экспертизе ЭУМ. Оцениваются следующие параметры: интерфейс и навигация, слайды ЭУМ, текст, визуальная среда и мультимедиа компоненты.

Проблема эргономической экспертизы (оценки) качества системы “человек-машина” является одним из ключевых моментов комплексной системы повышения качества информационных процессов. Эргономическая экспертиза (ЭЭ) стала обязательным этапом при исследовании, проектировании и эксплуатации систем “человек-машина”. Целью ЭЭ является определе-

ние соответствия достигнутых показателей качества общим и частным эргономическим требованиям и установления эргономического уровня качества системы [3].

В работе [4] был описан подход к выбору наиболее подходящего модуля для конкретного пользователя на основании пользовательских предпочтений и характеристик рабочего места. Для формирования допустимого множества и использования предложенного подхода необходима оценка, которая позволит выделить те модули, качество исполнения которых допустимо и по отдельным параметрам и в целом. *Поэтому целью данной работы является разработка механизма, который позволяет на начальном этапе отбросить бесперспективные модули и сформировать множество допустимых модулей для дальнейшего анализа.*

## 2. Постановка задачи

Пусть задано некоторое множество локальных показателей эргономического качества модулей  $K = \{k_j\}$ ,  $j = (1, n)$ . Отдельные показатели данного множества могут быть выделены в некоторые группы  $G = \{g_i\}$ ,  $i = (1, m)$ .

Существует некоторая процедура оценивания соответствия локальных показателей некоторым требованиям. Задано множество возможных результатов дизайн-эргономической экспертизы  $E=\{e_1, e_2, e_3\}$ . Оценка качества модуля используется для принятия одного из следующих решений:  $e_1$  - модуль соответствует заявленным дизайн-эргономическим рекомендациям оформления,  $e_2$  - требуется доработка,  $e_3$  - не соответствует заявленным дизайн-эргономическим требованиям оформления.

Множество конкретных анализируемых параметров в каждом конкретном случае зависит от многих факторов. В данной работе ограничимся характеристиками, используемыми для ЭЭ в [2].

Обозначим через  $E$  - интегральный показатель качества ЭУМ. Для оценки этого показателя будем использовать следующую информацию:

$X$  - интерфейс и навигация, который оценивается с учётом следующих частных показателей:  $x_1$  - удобство работы с клавиатурой и мышью,  $x_2$  - интуитивная понятность и удобство навигации (вид и расположение кнопок управления, ключевые точки переходов и длина пути до них, возможность произвольного и последовательного передвижения по материалу и т.п.),  $x_3$  - удобство работы с оглавлением;

$Y$  - страницы (слайды) ЭУМ, который оценивается с учётом следующих частных показателей:  $y_1$  - количество (дозирование) материала на странице (слайде),  $y_2$  - единообразие оформления страницы;

$Z$  - текст, который оценивается с учётом следующих частных показателей:  $z_1$  - читабельность текста,  $z_2$  - соблюдение логики оформления элементов текста (основного текста, заголовков, подзаголовков, подписей к иллюстрациям и пр.);

$V$  - визуальная среда (соблюдение логики оформления объектов (пропорции, расположение, цвет));

$M$  - мультимедиа-компоненты, который оценивается с учётом следующих частных показателей:  $m_1$  - обоснованность и удобство использования,  $m_2$  - соответствие тестовому материалу,  $m_3$  - качество исполнения.

Задача оценки состоит в том, чтобы поставить в соответствие модулю с известными частными показателями одно из решений  $e_1, e_2, e_3$ .

1. Экспертная оценка значений локальных показателей.

2. Отсевание вариантов, в которых хотя бы один эргономический показатель имеет значение ниже некоторого критически допустимого.

3. Определение интегрального показателя эргономического качества ЭУМ по совокупности локальных показателей.

Этапы 1 и 2 достаточно полно описаны в эргономической литературе. Задача, соответствующая этапу 3, относится к задаче классификации, которая может быть решена с привлечением большого количества методов, позволяющих работать с экспертными оценками (метод анализа иерархий, нейронные сети, нечёткая логика). В связи с нечёткостью информации, содержащейся в оценках экспертов, в качестве наиболее перспективного подхода к многокритериальному оцениванию определим метод нечёткого логического вывода, предложенный в работе [5].

**3.2. Схема решения.** Общая схема решения задачи ЭЭ электронных модулей представлена на рис. 1 и представляет собой последовательность таких действий:

1. Оценка модуля по выделенным показателям по шкале термометра (п.3.3).

2. Процедура нечёткого логического вывода (п.3.4).

3. Принятие решения о соответствии достигнутых показателей качества общим и частным эргономическим требованиям и установления эргономического уровня качества модуля.

Если принято решение о соответствии, то модуль добавляется в библиотеку ЭУМ и может быть использован для дальнейших процедур выбора наиболее подходящего модуля для конкретного пользователя. Иначе, выдаются рекомендации по доработке или обосновывается несоответствие модуля.

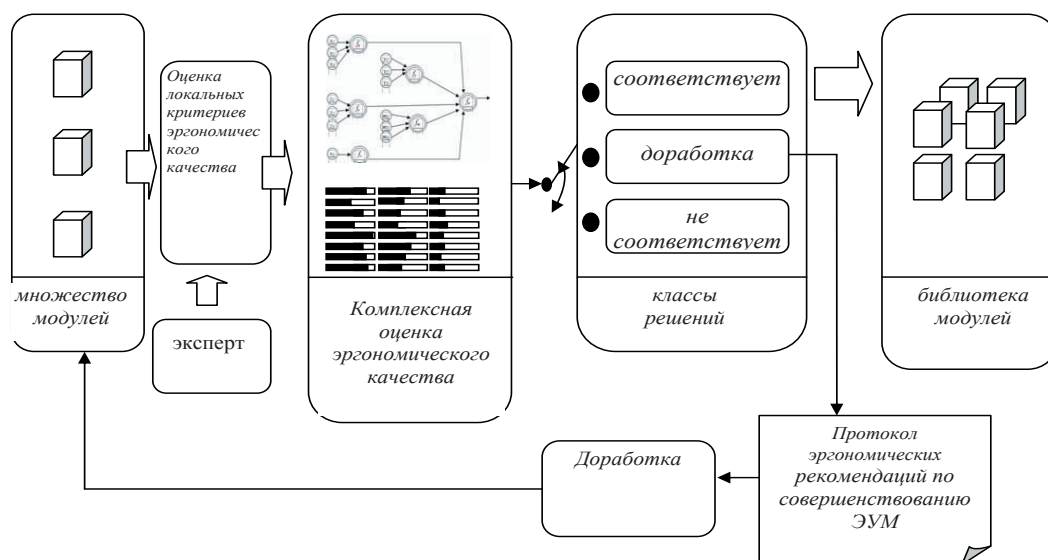


Рис. 1. Общая схема решения задачи ЭЭ электронных модулей

### 3. Результат

**3.1. Выбор метода решения.** Согласно методологии ЭЭ [3] будем решать задачу следующим образом:

**3.2. Нечёткий логический вывод.** Иерархия показателей соответствия показана на рис. 2 в виде дерева вывода, которому соответствует система соотношений:

$$E=f_E(X, Y, Z, M, V)$$

$$X=f_X(x_1, x_2, x_3)$$

$$Y=f_Y(y_1, y_2)$$

$$Z=f_Z(z_1, z_2, z_3)$$

$$M=f_M(m_1, m_2, m_3)$$

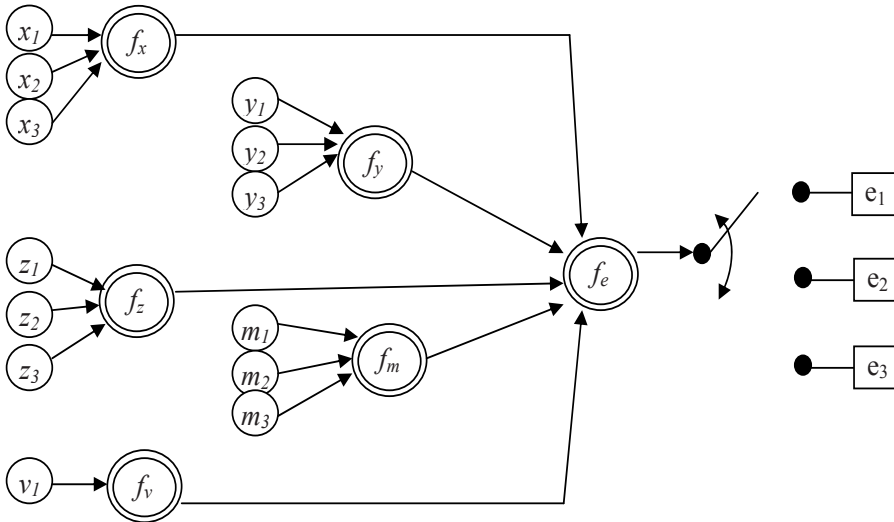


Рис. 2. Взаимосвязь интегрального и частных показателей

Этим соотношениям поставлены в соответствие нечеткие логические уравнения, которые позволяют определять уровень показателя  $E$  по максимуму функции принадлежности:

$$\mu^{E_j}(X, Y, Z, M, V) = \max_{p=1, q_j} \left\{ \min \left[ \mu^{x_{ip}}(X), \mu^{y_{jp}}(Y), \mu^{z_{ip}}(Z), \mu^{m_{jp}}(M), \mu^{v_{jp}}(V) \right] \right\} \quad (6)$$

$$\mu^{x_j}(x_1, x_2, \dots, x_i) = \max_{p=1, e_j} \left\{ \min_{i=1, l} \left[ \mu^{x_{ip}}(x_i) \right] \right\} \quad (7)$$

$$\mu^{y_j}(y_1, y_2, \dots, y_m) = \max_{p=1, g_j} \left\{ \min_{i=1, m} \left[ \mu^{y_{ip}}(y_i) \right] \right\} \quad (8)$$

$$\mu^{z_j}(z_1, z_2, \dots, z_n) = \max_{p=1, h_j} \left\{ \min_{i=1, n} \left[ \mu^{z_{ip}}(z_i) \right] \right\} \quad (9)$$

$$\mu^{m_j}(m_1, m_2, \dots, m_k) = \max_{p=1, t_j} \left\{ \min_{i=1, k} \left[ \mu^{m_{ip}}(m_i) \right] \right\} \quad (10)$$

$$\mu^{v_j}(v_1, v_2, \dots, v_s) = \max_{p=1, u_j} \left\{ \min_{i=1, s} \left[ \mu^{v_{ip}}(v_i) \right] \right\} \quad (11)$$

В соответствии с [5], алгоритм нечеткого логического вывода, использующий обобщенное дерево вывода имеет вид:

(1) 1. Зафиксируем вектор значений входных переменных

$$(x_1^*, x_2^*, \dots, x_q^*, y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*, z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*, m_1^*, m_2^*, \dots, m_k^*, v_1^*, v_2^*, \dots, v_s^*) \quad (3)$$

(2) 2. Определим значения функций принадлежности термов-оценок входных переменных  $\mu^{x_{ij}}(x_i)$ ,  $i=\overline{1, l}$ ,  $j=\overline{1, e_i}$ ,  $\mu^{y_{jk}}(y_j)$ ,  $j=\overline{1, m}$ ,  $k=\overline{1, g_j}$ ,  $\mu^{z_{ip}}(z_i)$ ,  $i=\overline{1, n}$ .

3. Используя соотношения (6)-(11) вычислим функции принадлежности термов-оценок выходной величины  $E$ , которая соответствует вектору значений входных переменных

$$(x_1^*, x_2^*, \dots, x_q^*, y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*, z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*, m_1^*, m_2^*, \dots, m_k^*, v_1^*, v_2^*, \dots, v_s^*)$$

4. Определим оценку  $E_j^*$ , функция принадлежности которой максимальна:

$$\mu^{E_j}(X, Y, Z, M, V) = \max_{j=1, r} \left[ \mu^{E_j}(X, Y, Z, M, V) \right] \rightarrow E = E_j^* \quad (12)$$

**3.3. Оценка частных показателей по принципу термометра.** Особенность частных показателей состоит в том, что они имеют качественный характер, т.е. не имеют точного количественного измерения. Поэтому при оценке одного и того же показателя несколькими экспертами могут возникать разные мнения. Кроме того эксперт не всегда способен словесно оценить частный показатель, хотя интуитивно ощущает его уровень.

Для преодоления этих трудностей можно оценивать частные показатели по принципу термометра (рис. 3), который изложен в [5].

Рис. 3. Оценка переменной  $u$  по принципу термометра

Удобство такого подхода состоит в том, что разные по смыслу частные показатели определяются как лингвистические переменные, заданные на едином универсальном множестве  $U=[u, \bar{u}]$ , которым является шкала термометра. Снижение субъективизма может быть достигнуто за счет использования рекомендаций из табл. 1.

Например, закрашенная часть шкалы на рис. 3 для показателя «Качество исполнения», соответствует высокому качеству исполнения.

Таблица 1

Некоторые рекомендации по оценке частных показателей качества

Частный показатель	Уровни оценки показателей			
	Недопустимый (отбрасывается на предварительном этапе экспертизы)	Минимальный	Средний	Максимальный
Удобство работы с клавиатурой и мышью, $x_1$	Неудобно работать	Не совсем комфортная работа	Есть некоторые замечания	Комфортная работа
Интуитивная понятность и удобство навигации, $x_2$	Нестандартное расположение управляющих элементов	Требуется предварительная подготовка перед началом работы с модулем	Есть некоторые замечания	Интуитивно-понятный интерфейс
Удобство работы с оглавлением, $x_3$	Оглавление отсутствует	В оглавлении только основные разделы	Некоторые неудобства при переходе	Удобный переход между разделами и подразделами
Количество материала на странице, $y_1$	Избыточность материала на странице	Некоторая избыточность	Есть некоторые замечания	Необходимое и достаточное количество материала
Единообразие оформления страниц, $y_2$	Необоснованное стилистическое многообразие	Различия в оформлении некоторых страниц	Незначительные замечания	Все страницы выполнены в одном стиле

Таблица 3

Фрагмент знаний о соотношениях (2)

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X$
В	С	В	В
С	Н	С	С
В	В	В	В

Таблица 4

Фрагмент знаний о соотношениях (3)

$y_1$	$y_2$	$Y$
В	Н	С
В	С	В
С	С	С

Таблица 5

Фрагмент знаний о соотношениях (4)

$z_1$	$z_2$	$Z$
С	С	С
В	С	В
Н	Н	Н

Таблица 6

Фрагмент знаний о соотношениях (5)

$m_1$	$m_2$	$m_3$	$M$
В	В	В	В
В	В	С	С
Н	С	С	Н

**3.4. Оценка интегрального показателя.** Предположим, что лингвистические переменные  $x_1$ - $x_3$ ,  $y_1$ - $y_2$ ,  $z_1$ - $z_3$ ,  $v$ ,  $m_1$ - $m_3$  оцениваются нечеткими терминами: Н - низкий, С - средний, В - высокий, которые определены с помощью функций принадлежности (рис. 4):

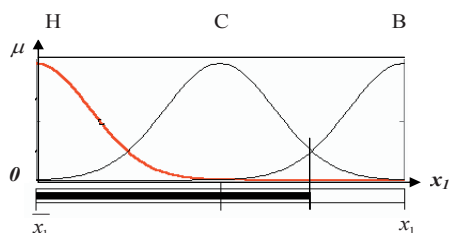


Рис. 3. Функции принадлежности нечетких термов

Пользуясь нечеткими терминами, зададим знания о соотношениях (1-5), в виде матриц, фрагменты которых представлены в табл. 5-7. Каждая группа строчек отображает условное высказывание, которое связывает нечеткие значения входных и выходных переменных. Например, из табл. 5 видно, что условием соответствия модуля является высказывание:

**ЕСЛИ ( $X=B$ ) И ( $Y=B$ ) И ( $Z=B$ )  
И ( $V=B$ ) И ( $M=B$ ), ТО  $E=e_1$ .**

Таблица 2

Фрагмент знаний о соотношениях (1)

$X$	$Y$	$Z$	$V$	$M$	$E$
В	В	В	В	В	$e_1$
С	В	В	С	В	
В	С	С	С	В	$e_2$
С	В	С	В	С	
Н	Н	Н	Н	Н	$e_3$
Н	С	С	Н	С	

Нечеткие логические уравнения, поставленные в соответствие табл. 2-6, позволяют оценивать интегральный показатель соответствия для фиксированных значений частных показателей.

Используя приведённый выше подход формируем множество модулей, наиболее соответствующих тре-

бованиям. Примеры оценки трёх модулей представлены в табл. 7.

Таблица 7

Примеры оценки ЭУМ

Частный критерий	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3
$x_1$			
$x_2$			
$x_3$			
$y_1$			
$y_2$			
$z_1$			
$z_2$			
$m_1$			
$m_2$			
$m_3$			
$V$			
<b>Решение</b>	Соответствует	Необходима доработка	Не соответствует

#### 4. Выводы и перспективы исследований

Предложено использование известного метода построения дерева нечёткого логического вывода для решения задачи эргономической экспертизы ЭУМ. Дальнейшая работа будет направлена на практическую реализацию рассмотренного подхода.

#### Литература

- Осин А.В. Создание учебных материалов нового поколения// Информатизация общего образования: Тематическое приложение к журналу «Вестник образования» - М.: Просвещение. – 2003. – №2.
- www.nsu.ru.
- Информационно - управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник/ Адаменко А.Н., Ашерев А.Т., Лавров Е.А. и др. под общ. ред. Губинского А.И. и Евграфова Е.Г. - М., Машиностроение, 1993. – 528с.
- Лавров Е.А., Барченко Н.Л. Подход к выбору типа диалога для адаптивных обучающих систем «человек-компьютер» на основе анализа предпочтений оператора// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Сер. Системы управления. - Харьков, 2009 - 3/4 (39) - 2009. - С. 45-49.
- Ротштейн О.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечёткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. - Винница: "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 1999.