

APPLICATION OF FUZZY LOGIC METHODS FOR DECRYPTION AND ASSESSMENT OF LEARNING OUTCOMES PRESENTED IN THE COMPETENCE-BASED FORMAT

V.I. Freiman, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Candidate
Perm National Research Polytechnic University, Russia

In order to increase the accuracy and reliability of assessment of learning outcomes given in the competence-based format, it is possible to use the approved approaches and methods from contiguous scientific areas. In particular, we propose using the fuzzy logic apparatus when decoding the results of test-based diagnosing of the competency development levels and their components. Adaptation of basic definitions of fuzzy logic to the set subject domain is performed. Approaches for solving the problem of the acquired competence assessment are given, as well as illustrative examples, showing the basic capabilities of the proposed methods and their robustness. An algorithm is proposed for decoding the results of test-based diagnosing of levels of development of competence elements, constructed on the basis of concepts and fuzzy logic apparatus methods adapted to the subject-related field.

Keywords: competence elements, test-based diagnosing, decoding, fuzzy logic, membership function, term-set, linguistic variable.

Conference participant,
National championship in scientific analytics


ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ДЕШИФРАЦИИ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В КОМПЕТЕНТНОМ ФОРМАТЕ

Фрейман В.И., канд. техн. наук, доцент, докторант
Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

Для повышения точности и достоверности оценивания результатов обучения, заданных в компетентном формате, возможно использование апробированных подходов и методов из смежных областей науки. В частности, предлагается применение аппарата нечеткой логики для снятия неопределенности при дешифрации результатов тестового диагностирования уровня освоения компетенций и их составляющих. Выполнена адаптация основных понятий аппарата нечеткой логики применительно к заданной предметной области. Приведены иллюстрирующие примеры, показывающие принципиальную возможность и корректность применения предлагаемого аппарата и подходов к решению задачи оценки приобретенных компетенций. Предлагается алгоритм дешифрации результатов тестового диагностирования уровня освоения элементов компетенций, построенный на основе адаптированных к предметной области понятий и методов аппарата нечеткой логики.

Ключевые слова: элементы и компоненты компетенций; тестовое диагностирование; дешифрация; нечеткая логика; функция принадлежности; терм-множество; лингвистическая переменная.

Участник конференции,
Национального первенства по научной аналитике

 <http://dx.doi.org/10.18007/gisap:tsca.v0i10.1504>

Введение. Постановка задачи. Для современной науки характерна диверсификация методов решения сложных задач в смежных областях науки, техники и технологии. Это позволяет найти нетривиальные решения актуальных задач, которые оказываются более эффективными, чем известные и апробированные подходы. Так, например, при решении ряда проблем в социальных и экономических системах находят применение такие «неклассические» для указанных отраслей научные направления, как теория информации, теория автоматического управления, техническая диагностика, теория вероятности, теория систем массового обслуживания, аппарат нечеткой логики, принципы нейронных сетей и т.д. Это позволяет адаптировать отработанные механизмы и алгоритмы к новым объектам и процессам, дать эффективные решения, особенно для многопараметрических и слабоформализуемых задач.

В настоящей статье предложены подходы к решению задач контроля результатов обучения, заданных в компетентном формате, с исполь-

зованием математического аппарата и методов нечеткой логики [1]. Аппарат нечеткой логики был применен, в частности, для решения задач автоматического управления объектами, для которых отсутствует или сложнореализуемо математическое описание. Объекты управления и контроля в рамках системы образования попадают именно под такое описание из-за «человеческого фактора» [2, 3, 4]. Также имеется большое количество взаимосвязанных недетерминированных параметров [5, 6], учесть которые корректной математической моделью невозможно [7, 8, 9].

Возникающие неопределенности, например, на этапе дешифрации результатов контроля [10], предлагается разрешать при помощи методов нечеткого вывода, с последующим преобразованием и приведением к четкому выводу. Это позволит, в частности, получить необходимую информацию о результатах контроля, которую можно использовать для оценки, аттестации, определения недостаточно освоенных вопросов, формирования перечня корректирующих мероприятий и других

действий по управлению и контролю качества обучения [11]. Предлагаемые подходы и алгоритмы могут быть использованы в составе методического, информационного и алгоритмического обеспечения автоматизированной системы управления и контроля качества обучения.

1. Основные понятия аппарата нечеткой логики применительно к предметной области контроля результатов обучения. Нечеткую логику эффективно применять в тех ситуациях, когда нет точного математического описания объекта управления и/или контроля, а также нет детерминированного описания исходных данных (используется интервальное задание области значений переменных). Указанная особенность применения полностью подходит для рассматриваемой предметной области, в которой объектом контроля является совокупность элементов дисциплинарных компетенций (ЭДК), а предметом контроля – уровень (степень) их освоения в соответствии с заданной шкалой оценивания [2].

Введем основные определения ап-

Табл. 1.

Варианты значений выходной лингвистической переменной

№	\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2	Значения выходной лингвистической переменной	Количество нЭДК	Обозначение (S)
1	0	0	$\bar{\mathcal{E}}_1 \& \bar{\mathcal{E}}_2$	2	S_2
2	0	1	$\bar{\mathcal{E}}_1 \& \mathcal{E}_2$	1	S_1
3	1	0	$\mathcal{E}_1 \& \bar{\mathcal{E}}_2$		
4	1	1	$\mathcal{E}_1 \& \mathcal{E}_2$	0	S_0

парата нечеткой логики применительно к рассматриваемой предметной области. Для этого выберем простейшую задачу контроля – один ЭДК (\mathcal{E}) проверяется индивидуальным (простым) тестом (T) [10].

Универсальное множество (универсум) в данном случае представляет собой совокупность возможных значений результатов тестирования (оценки за тест) T (примем, что оценка за тест нормализована в диапазоне $[0; 1]$). Выходная лингвистическая переменная

$$\mu_{\bar{\mathcal{E}}}(T) = \frac{O_{\text{пор.}} - T}{O_{\text{пор.}}}, \mu_{\mathcal{E}}(T) = \frac{T - O_{\text{пор.}}}{1 - O_{\text{пор.}}}$$

Характер функции принадлежности для термина «ЭДК не освоен» обусловлен принятой моделью снижения степени «неосвоения» ЭДК от 1 до 0. Характер функций принадлежности для термина «ЭДК освоен» обусловлен принятой моделью повышения степени «освоения» ЭДК от 0 до 1. Дадим комментарии по некоторым значениям результата тестирования и соот-

множество в данном случае представляет собой совокупность результатов тестирования в виде оценки $O(T)$, нормализованной в диапазоне $[0; 1]$ и обозначаемую далее также через T . Выходной лингвистической переменной является информация об уровне освоения всех контролируемых ЭДК S , определяемая количеством неосвоенных ЭДК (нЭДК). Она может быть выражена через термножество, состоящее из трех термов: {«оба ЭДК не освоены» (S_2); «один из ЭДК не освоен» (S_1); «все ЭДК освоены» (S_0)}. Варианты значений выходной лингвистической переменной могут быть представлены в табличном виде через все варианты сочетаний значений уровня освоения каждого из контролируемых ЭДК (табл. 1). В табл. 1 приняты следующие условные обозначения: 0 – ЭДК не освоен, 1 – ЭДК освоен.

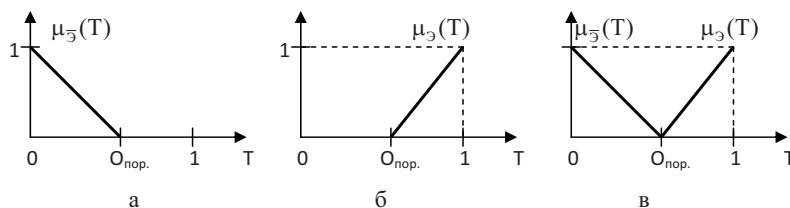


Рис. 1. Функции принадлежности термов:
 а – ФП термина «ЭДК не освоен»; б – ФП термина «ЭДК освоен»;
 в – ФП терм-множества

определяет уровень освоения ЭДК, т.е. принадлежность результата к определенному уровню заданной шкалы оценивания (примем двухуровневую шкалу оценивания – по положению результата тестирования относительно заданного порогового значения принятия решения Опор.) с использованием функции принадлежности (ФП). Выходная лингвистическая переменная может быть выражена через термножество, представляющее множество возможных выводов по результатам тестирования и состоящее, в частности, из двух термов: {«ЭДК не освоен» ($\bar{\mathcal{E}}$); «ЭДК освоен» (\mathcal{E})}. Конкретное значение ФП будем называть степенью принадлежности (СП).

Функция принадлежности каждого термина по результатам моделирования может быть описана линейной зависимостью (рис. 1) и представлена следующим образом:

ответствующим им значениям функции принадлежности для заданного $O_{\text{пор.}}$ (например, выберем $O_{\text{пор.}} = 0,6$). Можно интерпретировать $O_{\text{пор.}}$ следующим образом – менее 60 % ответов на тестовые задания правильные – ЭДК не освоен, 60 % и более ответов на тестовые задания правильные – ЭДК освоен.

В модели простого теста неопределенности при локализации значения выходной переменной нет, так как нет области наложения функций принадлежности разных термов. Далее перейдем к моделям более сложных тестов, контролирующих несколько ЭДК.

2. Применение нечеткого вывода для дешифрации результатов сложного теста. Построим модель для сложного теста, контролирующего два ЭДК: \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 . Универсальное

В общем случае из множества, содержащего h проверяемых тестом ЭДК, i элементов могут быть не освоены, а $(h - i)$ – освоены. Поэтому оценка за тест $O(i)$ при i неосвоенных ЭДК, с учетом введенных ограничений и допущений, строится в соответствии с аддитивным интегро-дифференциальным критерием [12], при фиксированных значениях h и $O_{\text{пор.}}$:

$$O(i) = \sum_{j=1}^h \lambda_j \cdot O_j = \frac{1}{h} \sum_{j=1}^h O_j = \frac{1}{h} \cdot \left(\sum_{j=1}^i O_j^- + \sum_{j=1}^{h-i} O_j^+ \right), \quad (1)$$

где λ_j – весовой коэффициент (показатель важности критерия), приняты одинаковы для всех ЭДК; O_j – оценка уровня освоения j -го контролируемого тестом ЭДК (неизвестна, так как в результате проверки получен только общий результат теста; O_j^- – ЭДК не освоен, $O_j^- \in [0; O_{\text{пор.}}]$; O_j^+ – ЭДК освоен, $O_j^+ \in [O_{\text{пор.}}; 1]$).

Оценка за тест при i неосвоенных ЭДК $O(i)$ имеет граничные значения: $O(i)_{\min}$ – мин. возможная оценка за тест при i нЭДК ($\forall O_j^- = O_{j_{\min}}^- = 0$; $O_j^+ = O_{j_{\min}}^+ = O_{\text{пор.}}$); $O(i)_{\max}$ – макс. возможная оценка за тест при i нЭДК ($\forall O_j^- = O_{j_{\max}}^- = O_{\text{пор.}}$; $O_j^+ = O_{j_{\max}}^+ = 1$):

$$O(i) \in [O(i)_{\min}; O(i)_{\max}]; \quad (2)$$

$$O(i)_{\min} = 1/h \cdot (i \cdot O_{\text{пор.}}^- + (h-i) \cdot O_{\text{пор.}}^+) = (1-i/h) \cdot O_{\text{пор.}} = O_{\text{пор.}} - i \cdot O_{\text{пор.}}/h; \quad (3)$$

$$O(i)_{\max} = 1/h \cdot (i \cdot O_{\text{пор.}}^- + (h-i) \cdot O_{\text{пор.}}^+) = 1 - i/h \cdot (1 - O_{\text{пор.}}) = 1 - i \cdot (1 - O_{\text{пор.}})/h. \quad (4)$$

$$\begin{aligned} O(0)_{\min} &= (1-0/2) \cdot O_{\text{пор.}} = O_{\text{пор.}}; \\ O(1)_{\min} &= (1-1/2) \cdot O_{\text{пор.}} = O_{\text{пор.}}/2; \\ O(2)_{\min} &= (1-2/2) \cdot O_{\text{пор.}} = 0; \end{aligned}$$

тролирующего $h = 2$ ЭДК, которые определяют минимально и максимально возможные значения оценок при разных $i = 0, 1, 2$ нЭДК:

Функция принадлежности для каждого значения выходной переменной характеризует степень принадлежности, может быть представлена линейной зависимостью:

Представим функции принадлежности на графике (рис. 2). Характеристики функций принадлежности подтверждаются моделированием всех возможных сочетаний значений уровней освоения каждого из контролируемых ЭДК и в настоящей работе не приводятся.

$$\begin{aligned} O(0)_{\max} &= 1 - 0/2 \cdot (1 - O_{\text{пор.}}) = 1; \\ O(1)_{\max} &= 1 - 1/2 \cdot (1 - O_{\text{пор.}}) = (1 + O_{\text{пор.}})/2; \\ O(2)_{\max} &= 1 - 2/2 \cdot (1 - 0,5) = O_{\text{пор.}}. \end{aligned}$$

Можно сделать вывод, что граничные значения оценки при заданном количестве нЭДК (i) определяются общим числом равнозначных ЭДК h и пороговым значением принятия ре-

Наличие одного теста не дает возможности сделать четкий вывод (выполнить дефазификацию [1]) из-за вероятности возникновения компенсации высоких оценок низкими и на-

гим, пересекающимся по некоторым из контролируемых элементов [13].

3. Дешифрация результатов реализации совокупности сложных тестов с применением аппарата нечеткой логики. Пусть тест T_1 контролирует элементы \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 , а тест T_2 – элементы \mathcal{E}_2 и \mathcal{E}_3 (пересечение тестов по элементу \mathcal{E}_2). Для каждого из них проводится фазификация и определяются функции принадлежности. Размерность каждого терм-множества равна максимальному количеству возможных значений неосвоенных ЭДК (нЭДК) – $(h_j + 1)$, где h_j – количество ЭДК, контролируемых конкретным тестом T_j . Поэтому общее количество продукционных правил, в каждом из которых по выполнению условий вида (IF ... THEN ...) принимается решение о значении выходной переменной [12], определяется как произведение размерностей всех терм-множеств: $(h_1 + 1) \times (h_2 + 1) = 9$.

Выходная лингвистическая переменная принимает значения, определяемые числом сочетаний состояний («освоен»/«не освоен») для каждого из h контролируемых всей совокупностью тестов элементов, т.е. 2^h . Поскольку в нашем случае $h = 3$ ($\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$), то общее количество вариантов значений (состояний) выходной переменной определяется как $2^h = 2^3 = 8$ и может быть представлено в табличном виде (табл. 2). Значения выходной переменной S зададим в виде десятичного числа, соответствующего двоичному коду, характеризующему состояние освоения элементов (0 – ЭДК не освоен, 1 – ЭДК освоен).

Таким образом, значения выходной переменной задаются термами с функциями принадлежности в виде

$$\begin{aligned} \mu_{S_2}(T) &= \frac{O_{\text{пор.}} - T}{O_{\text{пор.}}}, T \in [0; O_{\text{пор.}}]; \mu_0(T) = \frac{T - O_{\text{пор.}}}{1 - O_{\text{пор.}}}, T \in [O_{\text{пор.}}; 1]; \\ \mu_{S_1}(T) &= \begin{cases} \frac{T - O_{\text{пор.}}/2}{O_{\text{пор.}}/2}, T \in [O_{\text{пор.}}/2; O_{\text{пор.}}) \\ \frac{(1 + O_{\text{пор.}})/2 - T}{(1 + O_{\text{пор.}})/2 - O_{\text{пор.}}}, T \in [O_{\text{пор.}}; (1 + O_{\text{пор.}})/2) \end{cases} \end{aligned}$$

шения $O_{\text{пор.}}$. Граничные оценки будут использованы для задания логических условий при дешифрации результатов проверки.

Выполним расчеты для теста, кон-

оборот. В практике применения нечеткой логики значение переменной дополняют, например, значением ее производной [1]. В нашем случае возможно дополнение одного теста дру-

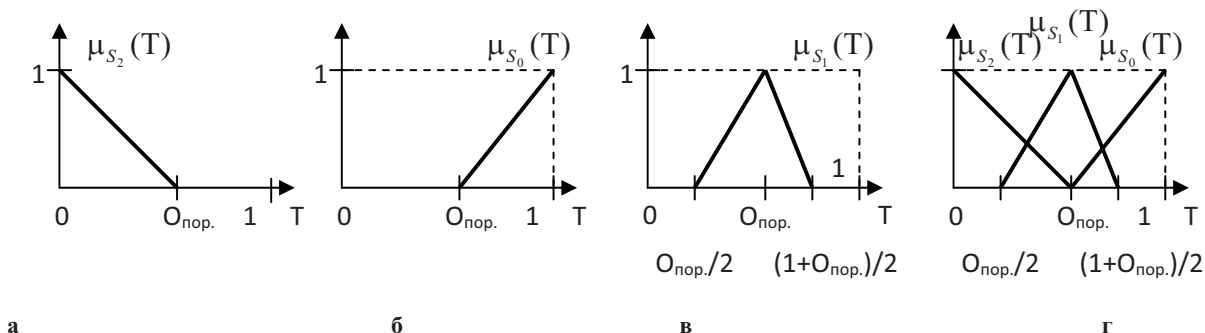


Рис. 2. Функции принадлежности:
а – терма S_2 ; б – терма S_0 ; в – терма S_1 ; г – терм-множества

Значения выходной переменной

№	\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2	\mathcal{E}_3	L	S
1	0	0	0	$\bar{\mathcal{E}}_1 \& \bar{\mathcal{E}}_2 \& \bar{\mathcal{E}}_3$	0
2	0	0	1	$\bar{\mathcal{E}}_1 \& \bar{\mathcal{E}}_2 \& \mathcal{E}_3$	1
3	0	1	0	$\bar{\mathcal{E}}_1 \& \mathcal{E}_2 \& \bar{\mathcal{E}}_3$	2
4	0	1	1	$\bar{\mathcal{E}}_1 \& \mathcal{E}_2 \& \mathcal{E}_3$	3
5	1	0	0	$\mathcal{E}_1 \& \bar{\mathcal{E}}_2 \& \bar{\mathcal{E}}_3$	4
6	1	0	1	$\mathcal{E}_1 \& \bar{\mathcal{E}}_2 \& \mathcal{E}_3$	5
7	1	1	0	$\mathcal{E}_1 \& \mathcal{E}_2 \& \bar{\mathcal{E}}_3$	6
8	1	1	1	$\mathcal{E}_1 \& \mathcal{E}_2 \& \mathcal{E}_3$	7

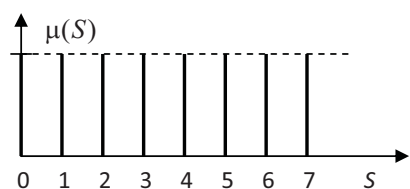


Рис. 3. Функции принадлежности выходной переменной

синглетонов (только значения $\mu = 1$) [13] (рис. 3).

Запишем продукционные правила. Для этого предлагается ввести логическое описание (L) каждого элемента терм-множества через булевы функции:

$$\text{— для } T_1: L_2 = \bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2, L_1 = \bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2, L_0 = \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2,$$

$$\text{— для } T_2: L_2 = \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3, L_1 = \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3, L_0 = \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_3.$$

Тогда значение выходной переменной S в каждом правиле будет определяться как логическое произведение выражений для соответствующих термов ($L = L_1 \cdot L_2$) из табл. 2.

Совокупность всех правил удобно представить в виде *матрицы решений*. В ней столбцы соответствуют

Табл. 2.

условиям одного параметра (T_1), а строки — условиям другого параметра (T_2). На пересечении столбцов и строк записываются выводы, соответствующие указанным условиям (табл. 3). Далее предлагается алгоритм решения задачи дешифрации результатов реализации совокупности тестов с использованием дефаззицикации (по методу Заде) [13].

1. По заданным значениям результатов тестов определяются значения степеней принадлежности (значение функции принадлежности терма для заданного значения универсума, т.е. результата соответствующего теста) для всех термов.

2. Выбираются правила, содержащие условия с ненулевыми степенями принадлежности (термы, которым соответствуют ненулевые значения функций принадлежности для заданных конкретных результатов тестов).

3. На первом шаге логического вывода определяется степень принадлежности всего antecedента каждого правила (по функции минимума).

4. На втором шаге формирования нечеткого вывода определяется степень принадлежности терм выходной переменной (по функции максимума).

5. Для дефаззицикации применяется метод центроида, который позволяет определить текущее значение выход-

1. IF $T_1 = S_2$ AND $T_2 = S_2$ THEN $L = \bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3 = \bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3$; $S = 0$: если результаты обоих тестов принадлежит интервалу S_2 , то выходная переменная $S = 0$, что соответствует решению о том, что все контролируемые ЭДК не освоены.

2. IF $T_1 = S_2$ AND $T_2 = S_1$ THEN $L = \bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot (\bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3) = \bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \mathcal{E}_3$; $S = 1$.

3. IF $T_1 = S_2$ AND $T_2 = S_0$ THEN $L = \bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_3 = 0^*$.

4. IF $T_1 = S_1$ AND $T_2 = S_2$ THEN $L = (\bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2) \cdot \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3 = \mathcal{E}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3$; $S = 4$.

5. IF $T_1 = S_1$ AND $T_2 = S_1$ THEN $L = (\bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2) \cdot (\bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3) = \mathcal{E}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \mathcal{E}_3 + \bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3$; $S = 2$ OR 5^{**} .

6. IF $T_1 = S_1$ AND $T_2 = S_0$ THEN $L = (\bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_1 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2) \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_3 = \bar{\mathcal{E}}_1 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_3$; $S = 3$.

7. IF $T_1 = S_0$ AND $T_2 = S_2$ THEN $L = \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3 = 0^*$.

8. IF $T_1 = S_0$ AND $T_2 = S_1$ THEN $L = \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot (\bar{\mathcal{E}}_2 \cdot \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3) = \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \bar{\mathcal{E}}_3$; $S = 6$.

9. IF $T_1 = S_0$ AND $T_2 = S_0$ THEN $L = \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2 \cdot \mathcal{E}_3$; $S = 7$.

Примечание. * — результат не может быть получен; правило не используется;

** — результат не может быть определен; правило записывается в обоих вариантах.

Матрица решений

		T_1		
		S_2	S_1	S_0
T_2	S_2	0	4	–
	S_1	1	2 or 5	6
	S_0	–	3	7

ной переменной для текущих значений входных лингвистических переменных. В результате определяется четкий результат, дающий информацию об уровне освоения каждого из контролируемых всей совокупностью тестов ЭДК. В [13, 14] приведен иллюстрирующий пример, показывающий корректность предложенного алгоритма. Также проведено исследование алгоритма дешифрации в среде *MatLab Fuzzy Logic*, результаты аналитических расчетов и моделирования показали совпадение с достаточной точностью.

Заключение. Применение аппарата нечеткой логики позволяет сделать четкие выводы при решении задач дешифрации результатов реализации совокупности тестов, проверяющих уровень освоения набора элементов дисциплинарных компетенций. Также возможно снизить эффект взаимной компенсации интегральных оценок на любом уровне иерархической модели результатов обучения (интегральный показатель подготовленности – компетенции – дисциплинарные компетенции – компоненты дисциплинарной компетенции – элементы компонентов дисциплинарной компетенции) [2, 3]. Предложенные подходы эффективно алгоритмируются и могут быть использованы в составе информационного и программного обеспечения автоматизированной системы сопровождения учебного процесса.

References:

1. Hizhnjakov Ju.N. Nечеткое, нейронное и гибридное управление: учеб. пособие [Fuzzy, neural and hybrid control: textbook]. – Perm', Publisher Perm National Research Polytechnic University, 2013. – 303 p.
2. Kon E.L., Frejman V.I., Juzhakov A.A. Ocenka kachestva formirovaniya kompetencij studentov tehnikeskikh vuzov pri dvuhurovnevoj

sisteme obuchenija. [Evaluation of the quality of formation students' competence of technical colleges with bimodal system of education], Scientific works SWorld. 2012., Vol. 9, No. 3, pp. 39-41.

3. Frejman V.I. K voprosu o formirovanii kompetentnostnoj modeli vypusknika., Prikladnaja fotonika [On the issue of formation of the graduate's competence-based model. Applied photonics]. – 2012., No. 1-4., pp. 43-55.

4. Kon E.L., Frejman V.I., Juzhakov A.A. Analiz vozmozhnosti primeneniya apparata i metodov tehnikeskoj diagnostiki dlja kontrolja i ocenki rezul'tatov osvoeniya kompetentnostno-orientirovannyh obrazovatel'nyh programm., Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo jelektrotehnikeskogo universiteta LJeTI [Analysis of the possibility to use the apparatus and methods of technical diagnostics to monitor and assess the results of mastering the competence-oriented educational programs., Bulletin of the Saint-Petersburg State Electrotechnical University LETI]. – 2014, No.7, pp. 66-71.

5. Frejman V.I. Primenenie metodov i procedur tehnikeskoj diagnostiki dlja kontrolja i ocenki rezul'tatov obuchenija, zadannyh v kompetentnostnom formate., Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo jelektrotehnikeskogo universiteta LJeTI [Application of methods and technical diagnostics procedures for monitoring and evaluation of learning outcomes, defined in the competence-based format., Bulletin of the Saint-Petersburg State Electrotechnical University LETI]. – 2014, No. 6, pp. 79-85.

6. Frejman V.I. Razrabotka metodiki kontroleprigodnogo proektirovaniya komponentnoj struktury disciplinarnoj kompetencii., Obrazovanie i nauka [Development of the technique of testable designing of the component structure of the disciplinary competence. Education and Science], 2014, No. 10

(119)., pp. 31-46. <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2014-10-31-46>

7. Kon E.L., Frejman V.I., Juzhakov A.A. Razrabotka podhodov k formalizovannomu opisaniju kontroleprigodnoj komponentnoj struktury disciplinarnoj kompetencii., Obrazovanie i nauka [Development of approaches to the formalized description of testable component structure of the disciplinary competence. Education and Science], 2015, No.4 (123)., pp. 52-68.

8. Kon E.L., Frejman V.I., Juzhakov A.A. Razrabotka i issledovanie podhodov k upravleniju, kontrolju i ocenivaniju kachestva realizacii kompetentnostno-orientirovannyh obrazovatel'nyh programm., Nauka i obrazovanie: jelektronnoe nauchno-tehnikeskoe izdanie. [Development and examination of approaches to controlling, monitoring and evaluating the quality of implementation of competence-oriented educational programs., Science and Education: Electronic scientific and technical issue], 2015, No. 3, pp. 356-372.

9. Frejman V.I. Razrabotka uchebno-metodicheskogo kompleksa discipliny v sootvetstvii s FGOS novogo pokolenija., Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnikeskogo universiteta. Jelektrotehnika, informacionnye tehnologii, sistemy upravlenija [Development of educational and methodical complex of the discipline in accordance with the new generation of FSES., Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Electrical engineering, information technology, control systems]. – 2009, No. 3, pp. 47-50.

10. Kon E.L., Frejman V.I., Juzhakov A.A. Novye podhody k podgotovke specialistov v oblasti infokommunikacij., Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Serija: Radiotehnikeskie i infokommunikacionnye sistemy. [New approaches to training the specialists in the field of information communications. Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Radio engineering, information and communication systems]. – 2015., No. 1 (25)., pp. 73-89.

11. Frejman V.I. Realizacija odnogo algoritma uslovnogo poiska jelementov kompetencij s nedostatochnym

urovnem osvoenija., Informacionno-upravljajushhie sistemy [Implementation of one algorithm of the conditional computer search for elements of insufficiently mastered competencies. Information and Control Systems], 2014. No. 2 (69), pp. 93-102.

12. Kon E.L., Frejman V.I., Juzhakov A.A. Kolichestvennaja ocenka rezul'tatov obuchenija, predstavlenyh v kompetentnostnom formate., Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tehničeskogo universiteta [Quantitative assessment of learning outcomes presented in the format of competence. Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University] 2015., Vol. 19, No. 1., pp. 206-212.

13. Kon E.L., Frejman V.I., Juzhakov A.A. Primenenie apparata nechetkoj logiki dlja kontrolja rezul'tatov obuchenija, zadannyh v kompetentnostnom formate., Nejrokomp'jutery: razrabotka, primenenie [Using the fuzzy logic apparatus to control the learning outcomes, defined in the competence-based format. Neurocomputers: development and application], 2014, No. 12, pp. 20-25.

14. Frejman V.I. Razrabotka metoda deshifracii rezul'tatov diagnostirovanija urovnja osvoenija jelementov kompetencij s ispol'zovaniem nechetkoj logiki., Nejrokomp'jutery: razrabotka, primenenie. [Development of the method to decode the results of diagnosing of the competence elements mastering level

using the fuzzy logic, Neurocomputers: development and application]. - 2014., No. 12, pp. 26-30.

Литература:

1. Хижняков Ю.Н. Нечеткое, нейронное и гибридное управление: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. - 303 с.

2. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Оценка качества формирования компетенций студентов технических вузов при двухуровневой системе обучения., Научные труды SWorld. 2012., Т. 9., No. 3., С. 39-41.

3. Фрейман В.И. К вопросу о формировании компетентностной модели выпускника., Прикладная фотоника. 2012., No. 1-4., С. 43-55.

4. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Анализ возможности применения аппарата и методов технической диагностики для контроля и оценки результатов освоения компетентностно-ориентированных образовательных программ., Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ. - 2014., No. 7., С. 66-71.

5. Фрейман В.И. Применение методов и процедур технической диагностики для контроля и оценки результатов обучения, заданных в компетентностном формате., Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ. - 2014., No. 6., С. 79-85.

6. Фрейман В.И. Разработка методики контролепригодного проектирования компонентной структуры дисциплинарной компетенции., Образование и наука., 2014., No. 10 (119), С. 31-46. <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2014-10-31-46>

7. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Разработка подходов к формализованному описанию контролепригодной компонентной структуры дисциплинарной компетенции., Образование и наука., 2015., No. 4 (123), С. 52-68.

8. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Разработка и исследование подходов к управлению, контролю и оцениванию качества реализации компетентностно-ориентированных

образовательных программ., Наука и образование: электронное научно-техническое издание., 2015., No. 3., С. 356-372.

9. Фрейман В.И. Разработка учебно-методического комплекса дисциплины в соответствии с ФГОС нового поколения., Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2009., No. 3., С. 47-50.

10. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Новые подходы к подготовке специалистов в области инфокоммуникаций., Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2015., No. 1 (25), С. 73-89.

11. Фрейман В.И. Реализация одного алгоритма условного поиска элементов компетенций с недостаточным уровнем освоения., Информационно-управляющие системы., 2014. No. 2 (69), С. 93-102.

12. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Количественная оценка результатов обучения, представленных в компетентностном формате., Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tehničeskogo universiteta. 2015., Т. 19., No. 1., С. 206-212.

13. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Применение аппарата нечеткой логики для контроля результатов обучения, заданных в компетентностном формате., Нейрокомпьютеры: разработка, применение., 2014., No. 12., С. 20-25.

14. Фрейман В.И. Разработка метода дешифрации результатов диагностирования уровня освоения элементов компетенций с использованием нечеткой логики., Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2014., No. 12., С. 26-30.

Information about authors:

1. Vladimir Freiman - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Doctoral Candidate, Perm National Research Polytechnic University; address: Russia, Perm city; e-mail: vfrey@mail.ru

