

2. Dijkstra E.W. Goto Statement considered harmful / Dijkstra E.W. // САСМ 11. – 1968. – №3. – Р.147-148.
3. Глушков В.М. Алгебра, языки, программирование / В.М. Глушков, Г.Е. Цейтлин, Е.Л. Ющенко. – К.: Наукова думка, 1978. – 320 с.
4. Сбитнев А.И. Моделирование структурных свойств программного обеспечения АСУ при человеко-машинном проектировании / А.И. Сбитнев // Кибернетика и вычислительная техника. – К., 1981. – С. 31-34.
5. Сбитнев А.И. Построение верификатора модульной системы на основе расширенных графов / А.И. Сбитнев // Кибернетика и вычислительная техника. К.,1985. – С. 96-98.
6. Вельбицкий И.В. Технология программирования: монография / И.В. Вельбицкий. – К.: Техника, 1984. – 279 с.

УДК 658.3:004[832.3+827]

Темник К.В. (Донецкий национальный технический университет)

### НЕЧЁТКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТНОШЕНИЯ УДАЛЁННЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ К ПАРАМЕТРАМ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

**Темник К.В. Нечёткая модель прогнозування відношення віддалених виконавців до параметрів виконання робіт.** Для задачі обліку та аналізу робочих аспектів поведінки окремих виконавців в рамках процесу віддаленого співробітництва запропоновано модель прогнозування відношення віддалених співробітників до параметрів виконання робіт з використанням методології нечіткого виведення. Для запропонованої моделі вибрано та формалізовано вхідні дані, складено набір правил, а також вибрано та модифіковано алгоритм нечіткого виведення.

**Ключові слова:** НЕЧІТКЕ ВИВЕДЕННЯ, ВІДДАЛЕНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО, ЛІНГВІСТИЧНА ЗМІННА, ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДНОШЕННЯ.

**Темник К.В. Нечёткая модель прогнозирования отношения удалённых исполнителей к параметрам выполнения работ.** Для задачи учёта и анализа рабочих аспектов поведения отдельных исполнителей в рамках процесса удалённого сотрудничества предложена модель прогнозирования отношения удалённых сотрудников к параметрам выполнения работ с использованием методологии нечёткого вывода. Для предложенной модели выбраны и формализованы исходные данные, составлен набор правил, а также выбран и модифицирован алгоритм нечёткого вывода.

**Ключевые слова:** НЕЧЁТКИЙ ВЫВОД, УДАЛЁННОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО, ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ПЕРЕМЕННАЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ.

**Темник К.В. Fuzzy prediction model of the relation of remote performers to work parameters.** For the task of account and analysis of certain performers working behavior aspects within remote employment process the relation predicting model of remote employees to work parameters with use of fuzzy inference methodology is offered. For the offered model basic data are selected and formalized, the rule set is made and also the fuzzy inference algorithm is selected and modified.

**Keywords:** FUZZY INFERENCE, REMOTE EMPLOYMENT, LINGUISTIC VARIABLE, RELATION PREDICTION.

**Введение.** Использование формализма нечёткого представления, а также математического аппарата нечёткой логики для решения научных и прикладных задач является актуальной тематикой исследований учёных со всего мира [1...3]. Возможность формального представления размытых и неточных данных, а также их математической обработки способствовали тому, что на данный момент нечёткая логика по праву считается одним из основных средств моделирования интеллектуальной деятельности человека и, как следствие, является одним из передовых направлений исследований в области искусственного интеллекта.

В рамках решения общей актуальной задачи повышения эффективности процессов управления персоналом в условиях удалённого сотрудничества в работе [4] автором была предложена концепция реализации программной интеллектуальной коммуникационной среды, которая в состоянии обеспечить необходимую на данном этапе исследования степень интеллектуализации управления. На основе полученных результатов в работе [5] было выполнено проектирование интеллектуальной системы управления в рамках агентной парадигмы, что позволило выделить основные направления её интеллектуализации, главным из которых является использование технологии нечёткого вывода для осуществления прогнозирования рабочих аспектов поведения удалённых сотрудников на основе данных о выполняемых ими работах. Выбор подобной технологии за основу требует приведения компонентов предметной области и в полное соответствие с парадигмой нечёткости.

**Постановка задачи.** В статье представлена разработка модели прогнозирования отношения исполнителей к параметрам выполнения работ для интеллектуальной системы управления персоналом в условиях удалённого сотрудничества в свете методологии нечёткого вывода. В общем случае подобная разработка требует освещения таких обязательных этапов, как введение лингвистических переменных, определение соответствующих им функций принадлежности, разработка набора правил, а также выбор собственно алгоритма нечёткого вывода.

**Введение лингвистических переменных.** Используемые в качестве основы способа прогнозирования метаданные представлены в виде выражений естественного языка (элементы шкалы отношения исполнителя к рабочей ситуации) и не имеют чёткого формального выражения, а коррелирующий с ними набор формальных данных работы также может быть легко представлен в виде естественно-языковых шкал описания параметров работы со стороны менеджера. С учётом данных факторов введём основные нечёткие оценки. Опыт удалённого сотрудничества показывает, что наиболее актуальными с точки зрения менеджера являются такие оценки работы, как запас времени выполнения, степень сложности и степень ценности работы соответственно. Определим множества естественно-языковых оценок для каждого типа приведённых выше показателей:

- запас времени  $T = \{\text{«Большой»}, \text{«Больше среднего»}, \text{«Средний»}, \text{«Меньше среднего»}, \text{«Маленький»}\}$ ;
- степень сложности  $C = \{\text{«Высокая»}, \text{«Выше среднего»}, \text{«Средняя»}, \text{«Ниже среднего»}, \text{«Низкая»}\}$ ;
- степень ценности  $V = \{\text{«Высокая»}, \text{«Выше среднего»}, \text{«Средняя»}, \text{«Ниже среднего»}, \text{«Низкая»}\}$ .

Кроме того, на основании практического опыта удалённого сотрудничества можно отметить, что хотя указанные выше данные для исполнителей также актуальны, как и для менеджеров, исполнитель, как правило, оценивает условия работы (и это ему проще выразить) с помощью некоторой интегральной оценки своего собственного отношения. В качестве набора возможных вариантов такой оценки определим следующее множество: отношение  $M = \{\text{«Наилучшее»}, \text{«Хорошее»}, \text{«Выше среднего»}, \text{«Среднее»}, \text{«Ниже среднего»}, \text{«Плохое»}, \text{«Наихудшее»}\}$ .

С использованием элементов рассмотренных множеств исполнитель имеет возможность отражать своё личное отношение к условиям выполнения каждой отдельно взятой работы (информация собирается сразу во время отправки результата работы), а менеджер – получать информацию об основных параметрах работы в удобном для себя виде. На основе рассмотренных множеств, введём набор лингвистических переменных.

$$\begin{aligned} &< \text{«Запас _ времени»}, T, X_t >, \\ &< \text{«Степень _ сложности»}, C, X_c >, \\ &< \text{«Степень _ ценности»}, V, X_v >, \\ &< \text{«Отношение»}, M, X_m >. \end{aligned} \tag{1}$$

Отметим, что в описании предложенных лингвистических переменных опущены два последних элемента кортежей в силу того, что на данном этапе исследования семантика предметной области не предполагает возможности генерации новых значений переменных.

Каждый элемент приведённых выше множеств выступает в качестве нечёткой переменной, определённой на соответствующем лингвистической переменной универсуме. Например, множество значений лингвистической переменной «Запас\_времени» формально может быть определено в виде  $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}$ . Соответственно, каждое значение представлено в виде нечёткой переменной следующего вида:

$$\langle t_i, X_i, A_i^i \rangle, \text{ где } A_i^i = \{x, \mu_i^i(x)\}; x \in X_i; X_i = [0; x_i^{\max}]. \quad (2)$$

**Определение функций принадлежности.** На этапе инициализации работы алгоритма нечёткого вывода, функции принадлежности нечётких переменных, определяющих возможные варианты значений соответствующей лингвистической переменной, должны быть равномерно распределены в границах, определяющих универсум этой переменной, как показано на рис. 1.

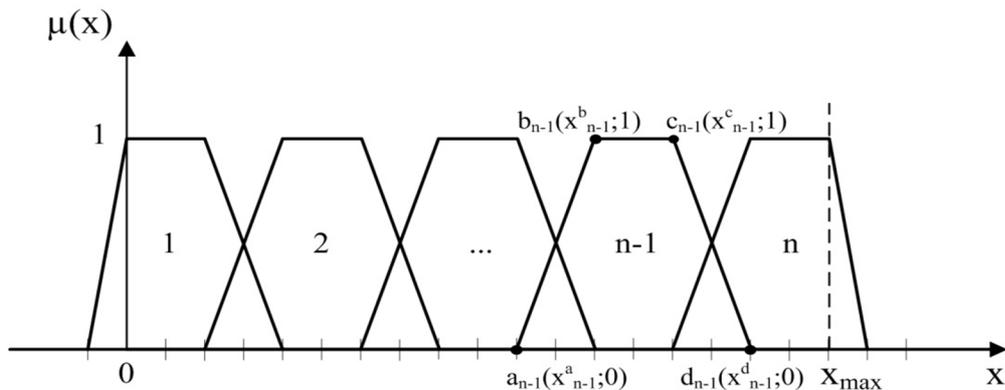


Рис. 1. Схематическое распределение функций принадлежности

Функции принадлежности нечётких переменных представлены в виде равных по размеру равнобедренных трапеций. Исключение составляют функции принадлежности первой и последней переменной – поскольку значения  $x$  никогда не выходят за пределы универсума, то поведение соответствующих функций за этими пределами не представляет интереса для исследования. Очевидно, что каждая трапеция может быть однозначно определена координатами соответствующих ей точек  $a, b, c$  и  $d$ . Таким образом, функция принадлежности нечёткой переменной будет иметь вид формулы (3).

$$\mu^i = \begin{cases} 0, & \text{если } x_i^d < x < x_i^a; \\ 1, & \text{если } x_i^b < x < x_i^c; \\ \frac{x - x_i^a}{x_i^b - x_i^a}, & \text{если } x_i^a \leq x \leq x_i^b; \\ \frac{x_i^c - x}{x_i^d - x_i^c}, & \text{если } x_i^c \leq x \leq x_i^d. \end{cases} \quad (3)$$

Также, поскольку вид каждой из таких функций определяется с помощью указанных четырёх точек  $a_i, b_i, c_i$  и  $d_i$ , то задача построения каждой функции фактически сводится к определению параметров  $x_i^a, x_i^b, x_i^c$  и  $x_i^d$ . С учётом того, что в силу свойства изменчивости возможных максимальных значений формальных показателей пределы универсумов некоторых лингвистических переменных невозможно определить заранее, рассмотрим универсальный способ построения функций принадлежности.

$$\text{Трапеция}_i = \begin{cases} x_i^a = \begin{cases} -0,1; \text{если } i = 1; \\ 2\gamma(i-1) - \gamma; \text{ иначе;} \end{cases} \\ x_i^b = \begin{cases} 0; \text{если } i = 1; \\ x_i^a + \gamma; \text{ иначе;} \end{cases} \\ x_i^c = x_i^b + \gamma; \\ x_i^d = \begin{cases} \gamma i + 0,1; \text{если } i = n; \\ x_i^c + \gamma; \text{ иначе;} \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

где  $\gamma = \frac{x_i^{\max}}{2n} + \frac{x_i^{\max}}{2n(2n-1)} = \frac{x_i^{\max}}{2n-1}$ .

В указанной формуле:

- $n$  – общее число значений лингвистической переменной;
- $x_i^{\max}$  – предельное значение её универсума;
- $\gamma$  – атомарная единица длины основания трапеции, второе слагаемое в расчёте которой является поправкой, компенсирующей тот факт, что функции принадлежности первой и последней переменной занимают на оси меньше места.

Пример распределения функций принадлежности с использованием формулы (4) при  $n=5$  и  $x^{\max}=22,5$  показан на рис. 2. Функция принадлежности третьего значения в тех же условиях показана на рис. 3.

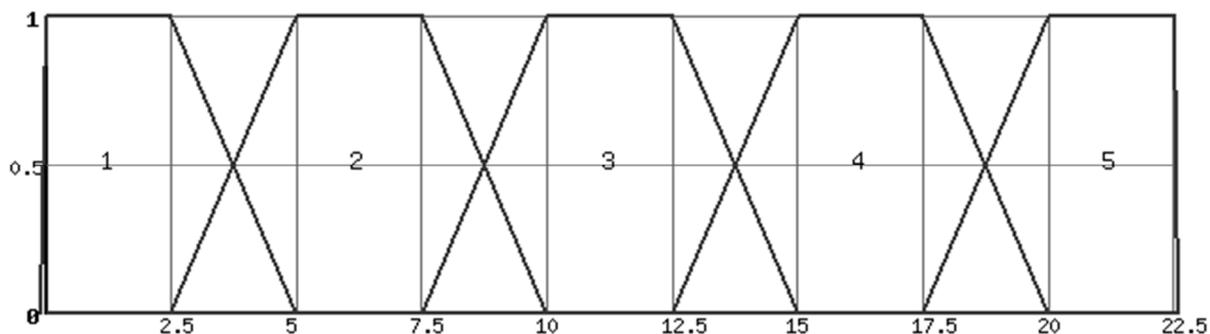


Рис. 2. Пример распределения функций принадлежности

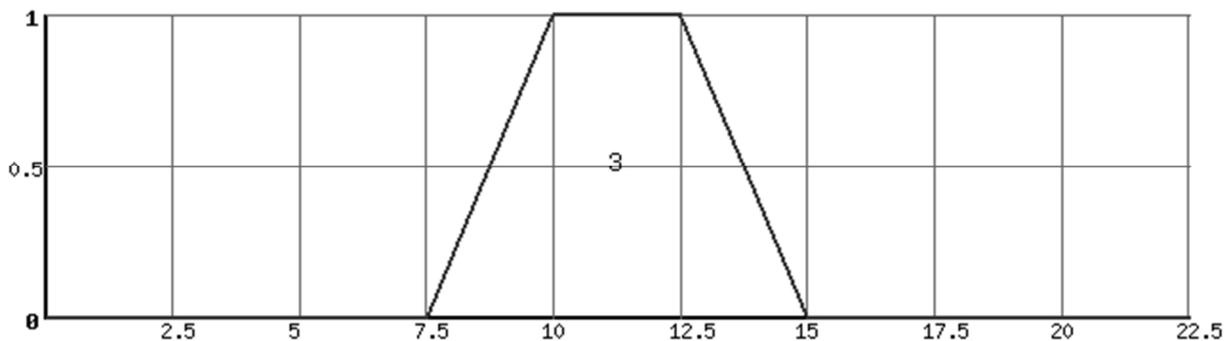


Рис. 3. Пример функции принадлежности третьего значения

Для примера на рис. 3 результаты расчётов выглядят следующим образом:

$$x_3^a = 7,5; x_3^b = 10; x_3^c = 12,5; x_3^d = 15.$$

Отметим, что выбор счётных формул для определения пределов универсумов введённых лингвистических переменных является отдельной задачей, решение которой не

рассматривается в рамках разработки нечёткого способа прогнозирования отношения исполнителей к параметрам выполнения работ.

Следует также отметить, что использование трапециевидных функций принадлежности в данном случае в большей степени обосновано суммарным мнением специалистов из области практики удалённого сотрудничества, нежели результатами объективных исследований. Как следствие данного обстоятельства, автором допускается возможность изменения внешнего вида функций принадлежности используемых нечётких переменных с целью повышения общей эффективности предлагаемого метода, с учётом того факта, что подобное изменение не будет иметь принципиального значения для общей концепции.

Для завершения описания составных компонентов аппарата нечёткого вывода определим набор используемых правил.

**Определение набора правил нечёткого вывода.** Для реализации процедуры нечёткого вывода в работе выбран набор правил вида «ЕСЛИ *Степень\_ценности*=X И *Степень\_сложности*=Y И *Запас\_времени*=Z ТО *Отношение*=M». При этом, существуют определённые особенности его составления, которые показаны ниже:

- для обеспечения универсальности процедуры вывода набор правил должен быть полным, т.е. значения входных переменных должны отражать все возможные варианты формальных данных работы;
- для того, чтобы можно было определить значения выходных переменных по умолчанию, правила должны быть упорядочены по мере убывания степени положительного качества их левых частей.

Поскольку каждая лингвистическая переменная левой части правила может иметь по пять различных вариантов значений, то полный набор правил должен состоять из 125 вариантов. При этом варианты значений правой части равномерно распределены от наилучшего в первом правиле, до наихудшего в последнем. На основе мнения фактических менеджеров для упорядочивания принят следующий порядок убывания приоритета переменных по умолчанию: «*Степень\_ценности*»-«*Степень\_сложности*»-«*Запас\_времени*».

С учётом описанных выше особенностей, набор правил нечёткого вывода принимает вид, показанный в табл. 1.

**Набор правил нечёткого вывода**

**Табл. 1**

№	Продукция
1	ЕСЛИ <i>Степень_ценности</i> =Высокая И <i>Степень_сложности</i> = Низкая И <i>Запас_времени</i> =Маленький ТО <i>Отношение</i> =Наилучшее
2	ЕСЛИ <i>Степень_ценности</i> =Высокая И <i>Степень_сложности</i> = Низкая И <i>Запас_времени</i> =Меньше среднего ТО <i>Отношение</i> =Наилучшее
3	ЕСЛИ <i>Степень_ценности</i> =Высокая И <i>Степень_сложности</i> = Низкая И <i>Запас_времени</i> =Средний ТО <i>Отношение</i> =Наилучшее
4	ЕСЛИ <i>Степень_ценности</i> =Высокая И <i>Степень_сложности</i> = Низкая И <i>Запас_времени</i> =Больше среднего ТО <i>Отношение</i> =Наилучшее
5	ЕСЛИ <i>Степень_ценности</i> =Высокая И <i>Степень_сложности</i> = Низкая И <i>Запас_времени</i> =Большой ТО <i>Отношение</i> =Наилучшее
6	ЕСЛИ <i>Степень_ценности</i> =Высокая И <i>Степень_сложности</i> =Ниже среднего И <i>Запас_времени</i> =Маленький ТО <i>Отношение</i> =Наилучшее
...	...
125	ЕСЛИ <i>Степень_ценности</i> =Низкая И <i>Степень_сложности</i> =Высокая И <i>Запас_времени</i> =Большой ТО <i>Отношение</i> =Наихудшее

Рассмотренный выше набор данных является достаточным для выбора алгоритма нечёткого вывода.

**Выбор и модификация алгоритма нечёткого вывода.** Для осуществления нечёткого вывода используется модификация классического алгоритма Мамдани [3] с использованием min-активизации и метода центра тяжести на этапе дефаззификации. Суть модификации заключается во введении дополнительного этапа так называемой «фаззификации результата». Суть указанного этапа заключается в получении по результату процесса нечёткого вывода нечёткого значения лингвистической переменной «Отношение», которое и будет выступать результатом прогноза (поскольку численное значение полученного аргумента не представляет интереса).

Математически этап фаззификации результата может быть представлен следующим выражением:  $\max(\mu_m^1(y), \mu_m^2(y), \mu_m^3(y), \mu_m^4(y), \mu_m^5(y), \mu_m^6(y), \mu_m^7(y))$ , где  $y$  – результат нечёткого вывода. В качестве результата прогноза выступает наименование нечёткой переменной, которой соответствует наибольшее значение. В случае, если максимальное значение равняется 0,5, то результат объявляется в виде «Либо  $X$  либо  $Y$ » для соответствующих соседних значений лингвистической переменной «Отношение».

**Выводы.** В рамках задачи построения нечёткой модели прогнозирования отношения исполнителей к параметрам выполнения работ для интеллектуальной системы управления персоналом в условиях удалённого сотрудничества были получены результаты, перечисленные ниже.

1. Введены лингвистические переменные. Определена их математическая и сущностная интерпретация, что дало возможность дальнейшего проектирования.

2. Определены функции принадлежности нечётких переменных для введённых лингвистических переменных. Допущения, принятые на данном этапе исследования, позволяют реализовать универсальный набор функций принадлежности для каждой отдельно взятой лингвистической переменной и адекватный способ их инициализации для каждого случая использования.

3. Определён набор и состав базы правил нечёткого вывода. Принятый в работе вид правил соответствует практическому опыту удалённого сотрудничества, а их полный набор является универсальным для рассматриваемой задачи.

4. Выбран и модифицирован алгоритм нечёткого вывода Мамдани. Суть модификации позволяет получать результаты прогноза в удобном для пользователя системы виде.

### Литература

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб. : БВХ-Петербург, 2005. – 736 с.
2. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М. : Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.
3. Заде Л. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений / Л. Заде // Математика сегодня. – М. : Знание, 1974. – С. 5-21. – (Серия «Математика, кибернетика»; вып.7, 1974).
4. Шушура А.Н. Моделирование рабочего поведения удалённых сотрудников с использованием интеллектуальных агентов / А.Н. Шушура, К.В. Темник // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №6/2(54). – С.19-21.
5. Темник К.В. Формальное графическое представление многоагентных систем в задаче управления персоналом в условиях удалённого сотрудничества / К.В. Темник // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2012. – №3(55). – С.145-151.