

УДК 681.3.16

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ
ПСИХО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИГОДНОСТИ ЛИЦ,
ЗАНЯТЫХ НА РАБОТАХ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ТЕХНО-
ГЕННОЙ ОПАСНОСТИ
И ПОВЫШЕННЫМ РИСКОМ**

Н. В. Кузнецова

*Н. В. Нечипорук, канд. техн. наук
(Национальный аэрокосмический университет
им. Н. Е. Жуковского "ХАИ")*

Рассмотрен вопрос моделирования профессиональной психофизиологической пригодности, обусловленный учетом большого числа количественных и качественных параметров функционального состояния претендента с применением аппарата нечеткой логики. Предложено проведение дефазификации результатов с помощью модифицированного метода Саати

Розглянуте питання моделювання професійної психофізіологічної придатності, яка обумовлена обліком великого числа кількісних та якісних параметрів функціонального стану претендента. Досліджено можливість проведення дефазифікації результатів за допомогою методу Саати

The problem of simulation of the professional psychophysiological fitness fuzzy logic based caused by the registration of the big number of quantitative and qualitative parameters of a functional status of the challenger is considered. Possibility of holding defuzzification results by means of updated method Saati is researched

Проблема создания компьютеризованных средств профессионального психофизиологического отбора приобретает все большее значение, поскольку в настоящее время технический прогресс породил устойчивую тенденцию к возникновению чрезвычайных ситуаций по вине человеческого фактора в различных сферах

© Н. В. Кузнецова, Н. В. Нечипорук, 2008

деятельности общества. Поэтому в Украине была разработана национальная программа “Об улучшении состояния безопасности, гигиены труда и производственной среды на 2001—2005 годы”, утвержденная Постановлением Кабинета Министров от 10.10.2001 г. № 1320. Этой программой предусмотрена “разработка и внедрение в ведущих отраслях промышленности системы профессионального психофизиологического отбора специалистов, занятых на работах с повышенным уровнем опасности”. По заказу Госнадзорохрантруда в 2005 году Главным учебно-методическим центром психофизиологической экспертизы (ГУМЦПЭ) разработана и внедрена “Единая система профессионального психофизиологического отбора специалистов, занятых на работах с высоким уровнем техногенной опасности и повышенным риском”, в которой перечислены психофизиологические показатели при определении профессиональной пригодности.

В сложившейся ситуации специалисту при проведении профессионального психофизиологического отбора необходимо предоставить удобный инструментарий, который сможет помочь ему автоматизировать процесс определения профессиональной пригодности, тем самым, повысив скорость и достоверность выдаваемого заключения. Таким средством могут быть современные автоматизированные системы и прогрессивные информационные технологии с применением аппарата нечеткой логики, которые существенно облегчили бы выполнение этой задачи.

По своей сути задача автоматизированного профессионального отбора состоит в том, чтобы каждому сочетанию значений параметров функционального состояния организма, поставить в соответствие одно из решений профессиональной пригодности: $g_j, (j = 1, 4)$.

Поскольку, по определению, профессиональный психофизиологический отбор — это принятие решения о профпригодности [1], то для решения проблемы моделирования этого процесса целесообразно определить профессиональную психофизиологическую пригодность как соответствующие типы пригодностей, которые подлежат распознаванию:

g_1 — пригоден (значения параметров в норме, рекомендуется безоговорочно);

g_2 — относительно пригоден (значения параметров выше нормы, рекомендуется);

g_3 — мало пригоден (значения параметров ниже нормы, рекомендуется с предостережениями);

g_4 — не пригоден (значения параметров значительно ниже нормы).

При установлении профессиональной пригодности для конкретного претендента (работника по обслуживанию действующих электроустановок) примем во внимание следующие основные параметры функционального состояния:

x_1 — время срабатывания на слабые цветовой и звуковой сигналы;

x_2 — время срабатывания на сильные цветовой и звуковой сигналы;

x_3 — среднее время работы с тестами по скорости переключения внимания;

x_4 — среднее время работы с тестами по определению объема внимания;

x_5 — время выполнения задания;

x_6 — количество правильных ответов;

x_7 — количество правильных ответов при воспроизведении рисунков;

x_8 — количество правильных ответов при воспроизведении звуков;

x_9 — количество баллов;

x_{10} — показатель эмоциональности;

x_{11} — время выполнения;

x_{12} — количество правильных ответов;

x_{13} — скорость выполнения;

x_{14} — время выполнения задания;

x_{15} — количество общих действий;

x_{16} — количество неверных действий.

Введенные выше параметры $x_1 — x_{16}$, будем рассматривать как лингвистические переменные [2] и, кроме этого, введем дополнительные лингвистические переменные следующего вида:

g — профпригодность, которая соответствуют типам $g_1 ÷ g_4$;

f_d — сенсомоторная пригодность (SMR — сенсомоторные реакции), зависящая от параметров $x_7 — x_8$;

f_h — внимательная пригодность (ROV — скорость переключения и объем внимания), зависящая от параметров $x_3 — x_4$;

f_j — скоростная пригодность (SPV — скорость переключения внимания), зависящая от параметров $x_5 — x_6$;

f_q — памятная пригодность (PZS — память зрительно-слуховая), зависящая от параметров $x_7 — x_8$;

f_s — эмоциональная пригодность (EST — эмоциональная стойкость и тревожность), зависящая от параметров $x_9 — x_{10}$;

f_y — утомленная пригодность (U — утомление), зависящая от параметров $x_{11} — x_{13}$;

f_z — халатная пригодность (H — халатность), зависящая от параметров $x_{14} — x_{16}$.

В соответствии со структурой модели (рис. 1), определим типы профессиональной пригодности как: g_1 — пригоден (П), g_2 — относительно пригоден (оП), g_3 — малопригоден (мП), g_4 — не пригоден (нП).

Для оценки значений всех лингвистических переменных будем использовать следующие шкалы качественных термов:

для (SMR) шкала — сильная, средне-сильная, средняя, слабая;

для (ROV) шкала — высокая, выше средней, средняя, низкая;

для (SPV) шкала — низкая, средняя, выше среднего, высокая;

для (PZU) шкала — отличная, хорошая, удовлетворительная, слабая;

для (EST) шкала — умеренная, средняя, средневысокая, высокая;

для (U) шкала — слабая, средняя, выше средней, сильная;

для (H) шкала — низкая, средняя, выше среднего, высокая.

Если проанализировать природу данных лингвистических переменных, то можно сделать вывод о том, что часть параметров имеют дискретный характер (время срабатывания на слабые цветовой и звуковой сигналы, количество неверных действий и т. д.), а часть параметров — непрерывный (утомление, халатность и т. д.), их значения можно указать лишь приближенно. При таких условиях осуществление профессионального отбора также может носить лишь приближенный (или нечеткий) характер. Учитывая данное обстоятельство, можно сделать вывод, что для формализации профессиональной пригодности исследуемого объекта, имеет смысл воспользоваться нечеткими базами знаний.

Нечеткие базы знаний [3] воплощают в себе описание причинно-следственных связей профессионального психофизиологического состояния претендента и его профпригодности на естественном языке с применением теории нечетких множеств и лингвистических переменных. Фрагмент базы знаний приводится в табл. 1.

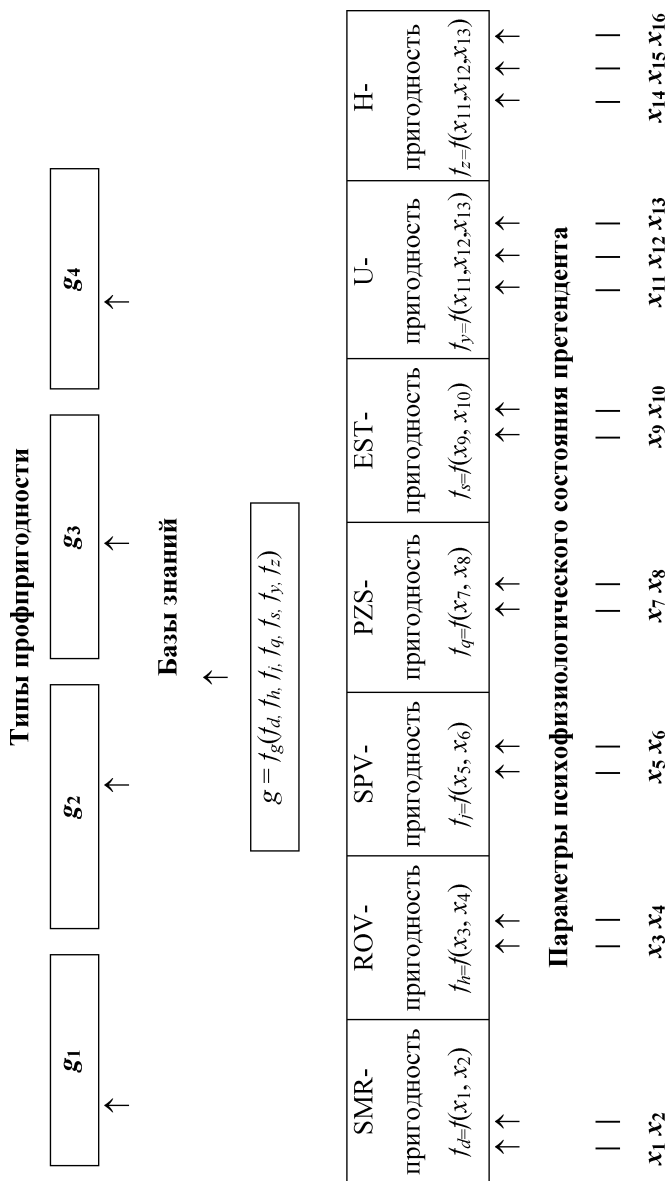


Рис. 1. Структура модели профессиональной психо-физиологической пригодности.

Таблиця 1

БАЗА ЗНАНИЙ

№ правила	Правило	Тип профпригодности
1.	<i>If</i> (СМР is сильные) and (РОВ is высокое) and (СПВ is выше среднего) and (ПЗС is отличная) and (ЭСТ is умеренная тревога) and (У is низкое) and (Х is низкое) then	(пригодность is g_1)
2.	<i>If</i> (СМР is средне-сильные) and (РОВ is высокое) and (СПВ is выше среднего) and (ПЗС is отличная) and (ЭСТ is умеренная тревога) and (У is низкое) and (Х is низкое) then	(пригодность is g_2)
3.	<i>If</i> (СМР is средне-сильные) and (РОВ is выше среднего) and (СПВ is выше среднего) and (ПЗС is отличная) and (ЭСТ is умеренная тревога) and (У is низкое) and (Х is низкое) then	(пригодность is g_2)
4.	<i>If</i> (СМР is средне-сильные) and (РОВ is выше среднего) and (СПВ is средняя) and (ПЗС is отличная) and (ЭСТ is умеренная тревога) and (У is низкое) and (Х is низкое) then	(пригодность is g_2)

№ правила	Правило	Тип профпригодности
1.	<i>If</i> (СМР is средне-сильные) and (РОВ is выше среднего) and (СПВ is средняя) and (ПЗС is хорошая) and (ЭСТ is умеренная тревога) and (У is низкое) and (Х is низкое) then	(пригодность is g_2)
...
46.	<i>If</i> (СМР is слабая) and (РОВ is низкая) and (СПВ is высокая) and (ПЗС is слабая) and (ЭСТ is высокая) and (У is сильное) and (Х is высокая) then	(пригодность is g_4)

Этим высказываниям соответствуют логические уравнения, связывающие функции принадлежности $\mu(x_i)$ всех переменных. Используя табл. 1, запишем систему нечетких логических уравнений, связывающую функции принадлежности профессиональной пригодности $\mu_i^g(g)$ и входные переменные.

Фрагмент системы нечетких логических уравнений для базы знаний (табл. 1) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \mu_1^g(g) &= [\mu^П(x_1) \wedge \mu^П(x_2) \wedge \mu^П(x_3) \wedge \mu^П(x_4) \wedge \mu^П(x_5) \wedge \mu^П(x_6) \wedge \mu^П(x_7) \dots \wedge \mu^П(x_{16})] \vee \\
 & [\mu^П(x_1) \wedge \mu^П(x_2) \wedge \mu^П(x_3) \wedge \mu^П(x_4) \wedge \mu^П(x_5) \wedge \mu^П(x_6) \wedge \mu^П(x_7) \dots \wedge \mu^ОП(x_{16})] \vee \\
 & [\mu^П(x_1) \wedge \mu^П(x_2) \wedge \mu^П(x_3) \wedge \mu^П(x_4) \wedge \mu^П(x_5) \wedge \mu^П(x_6) \wedge \mu^ОП(x_7) \dots \wedge \mu^П(x_{16})] \vee \\
 & \dots \\
 & [\mu^ОП(x_1) \wedge \mu^П(x_2) \wedge \mu^П(x_3) \wedge \mu^П(x_4) \wedge \mu^П(x_5) \wedge \mu^П(x_6) \wedge \mu^П(x_7) \dots \wedge \mu^П(x_{16})], \\
 \mu_2^g(g) &= [\mu^ОП(x_1) \wedge \mu^ОП(x_2) \wedge \mu^ОП(x_3) \wedge \mu^ОП(x_4) \wedge \mu^ОП(x_5) \wedge \mu^ОП(x_6) \wedge \mu^ОП(x_7) \dots \wedge \mu^ОП(x_{16})] \vee \\
 & [\mu^ОП(x_1) \wedge \mu^ОП(x_2) \wedge \mu^ОП(x_3) \wedge \mu^ОП(x_4) \wedge \mu^ОП(x_5) \wedge \mu^ОП(x_6) \wedge \mu^ОП(x_7) \dots \wedge \mu^МП(x_{16})] \vee \\
 & [\mu^ОП(x_1) \wedge \mu^ОП(x_2) \wedge \mu^ОП(x_3) \wedge \mu^ОП(x_4) \wedge \mu^ОП(x_5) \wedge \mu^ОП(x_6) \wedge \mu^МП(x_7) \dots \wedge \mu^ОП(x_{16})] \vee \\
 & \dots \\
 & [\mu^МП(x_1) \wedge \mu^ОП(x_2) \wedge \mu^ОП(x_3) \wedge \mu^ОП(x_4) \wedge \mu^ОП(x_5) \wedge \mu^ОП(x_6) \wedge \mu^ОП(x_7) \dots \wedge \mu^ОП(x_{16})], \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_3^g(g) = & [\mu^{МП}(x_1) \wedge \mu^{МП}(x_2) \wedge \mu^{МП}(x_3) \wedge \mu^{МП}(x_4) \wedge \mu^{МП}(x_5) \wedge \mu^{МП}(x_6) \wedge \mu^{МП}(x_7) \dots \wedge \mu^{МП}(x_{16})] \vee \\ & [\mu^{ОП}(x_1) \wedge \mu^{ОП}(x_2) \wedge \mu^{ОП}(x_3) \wedge \mu^{ОП}(x_4) \wedge \mu^{ОП}(x_5) \wedge \mu^{ОП}(x_6) \wedge \mu^{ОП}(x_7) \dots \wedge \mu^{МП}(x_{16})] \vee \\ & [\mu^{ОП}(x_1) \wedge \mu^{ОП}(x_2) \wedge \mu^{ОП}(x_3) \wedge \mu^{ОП}(x_4) \wedge \mu^{ОП}(x_5) \wedge \mu^{ОП}(x_6) \wedge \mu^{МП}(x_7) \dots \wedge \mu^{МП}(x_{16})] \vee \\ & \dots \\ & [\mu^{МП}(x_1) \wedge \mu^{П}(x_2) \wedge \mu^{П}(x_3) \wedge \mu^{П}(x_4) \wedge \mu^{П}(x_5) \wedge \mu^{П}(x_6) \wedge \mu^{П}(x_7) \dots \wedge \mu^{П}(x_{16})], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_4^g(g) = & [\mu^{МП}(x_1) \wedge \mu^{МП}(x_2) \wedge \mu^{МП}(x_3) \wedge \mu^{МП}(x_4) \wedge \mu^{МП}(x_5) \wedge \mu^{МП}(x_6) \wedge \mu^{МП}(x_7) \dots \wedge \mu^{МП}(x_{16})] \vee \\ & [\mu^{МП}(x_1) \wedge \mu^{МП}(x_2) \wedge \mu^{МП}(x_3) \wedge \mu^{МП}(x_4) \wedge \mu^{МП}(x_5) \wedge \mu^{МП}(x_6) \wedge \mu^{МП}(x_7) \dots \wedge \mu^{МП}(x_{16})] \vee \\ & [\mu^{МП}(x_1) \wedge \mu^{МП}(x_2) \wedge \mu^{МП}(x_3) \wedge \mu^{МП}(x_4) \wedge \mu^{МП}(x_5) \wedge \mu^{МП}(x_6) \wedge \mu^{МП}(x_7) \dots \wedge \mu^{МП}(x_{16})] \vee \\ & \dots \\ & [\mu^{МП}(x_1) \wedge \mu^{МП}(x_2) \wedge \mu^{МП}(x_3) \wedge \mu^{МП}(x_4) \wedge \mu^{МП}(x_5) \wedge \mu^{МП}(x_6) \wedge \mu^{МП}(x_7) \dots \wedge \mu^{МП}(x_{16})]. \end{aligned}$$

Решение системы нечетких логических уравнений (1) и дефазификацию результатов проводим с помощью модифицированного метода Саати [4]. Предлагаемый метод использует матрицу парных сравнений элементов универсального множества. Но в отличие от метода Саати, не требует нахождения собственного вектора матрицы, т. е. нет необходимости в трудоёмкой процедуре решения характеристических уравнений. Метод основан на распределении степеней принадлежности элементов универсального множества согласно их рангам. Под рангом элемента $x_i \in X_i$ понимается число $r_g(x_i)$, которое характеризует значимость этого элемента в формировании свойства, которое описывается нечётким термом G . Чем больший ранг элемента, тем больше степень принадлежности. Введем обозначения: $r_g(x_i) = r_g$, $\mu_g(x_i) = \mu_i$, $i = 1, n$.

Тогда правило распределения степеней принадлежности задаётся в виде соотношений:

$$\frac{\mu_1}{r_1} = \frac{\mu_2}{r_2} = \frac{\mu_3}{r_3} = \frac{\mu_4}{r_4}. \quad (2)$$

При условии нормирования:

$$\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 = 1, \quad (3)$$

получим следующие формулы:

$$\left. \begin{aligned} \mu_1 &= \left(1 + \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_3}{r_1} + \dots + \frac{r_n}{r_1} \right)^{-1} \\ \mu_2 &= \left(\frac{r_1}{r_2} + 1 + \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{r_n}{r_2} \right)^{-1} \\ &\dots\dots\dots \\ \mu_n &= \left(\frac{r_1}{r_n} + \frac{r_2}{r_n} + \frac{r_3}{r_n} + \dots + 1 \right)^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

По относительным оценкам рангов получим четыре аналогичные матрицы $A_1 - A_4$:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{r_2}{r_1} & \frac{r_3}{r_1} & \frac{r_4}{r_1} \\ \frac{r_2}{r_1} & 1 & \frac{r_3}{r_1} & \frac{r_4}{r_1} \\ \frac{r_2}{r_1} & \frac{r_3}{r_1} & 1 & \frac{r_4}{r_1} \\ \frac{r_2}{r_1} & \frac{r_3}{r_1} & \frac{r_4}{r_1} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

...

Эти матрицы обладают свойствами диагональности, элементы в них симметричны относительно главной диагонали, взаимосвязаны и они транзитивны, что позволяет при известных элементах одной строки матриц $A_1 - A_4$ определить элементы всех других строк.

Поскольку матрицы (5) интерпретируются как матрицы парных сравнений рангов, то для экспертных оценок элементов этих матриц используется 9-ти балльная шкала Саати.

С помощью полученных формул (2—5) экспертные знания о рангах элементов преобразуются в функцию принадлежности для каждого нечёткого терма. Это главное преимущество метода, в котором не требуется решения характеристического уравнения самой матрицы. Таким образом определяется четкое число g_p , которое соответствует нечеткому множеству G , определяющееся одним из четырех типов профессиональной психофизиологической пригодности. Из этого следует, что рассмотренный метод построения функций принадлежности нечетких множеств являются основным элементом в процессе принятия решений о профпригодности претендента. Кроме этого, модифицированный метод Саати позволяет успешно генерировать функции принадлежности в процессе формализации лингвистических высказываний.

Полученная теоретическая модель определения профессиональной психофизиологической пригодности претендента может быть использована для профотбора в любом виде работ при условии настройки ее с применением генетического алгоритма и статистических данных профотбора этого вида работ.

При необходимости административного влияния на процесс определения профпригодности, могут вводиться дополнительные параметры отбора. В этом случае полученная практическая модель профессиональной психофизиологической пригодности дополнительно настраивается с использованием нейросети.

* * *

1. *Кузнецова Н. В.* Прогнозирование профессиональной психофизиологической пригодности на основе экспертно-лингвистических закономерностей, как одного из инструментов решения современных экологических проблем // *Сучасні технології управління екологічною і інформаційною безпекою територій (збірник статей)*. — Х., 2005. — № 4. — С. 34—37.

2. *Заде Л.* Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // *Математика сегодня (Сборник статей. Перевод с англ.)*. — М.: “Знание”, 1974. — С. 5—49.

3. Нечипорук Н. В., Кузнецова Н. В. Применение синтезированной нечеткой базы знаний для моделирования профессиональной пригодности как инструмента управления экологической безопасностью — // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. — К., 2007. — № 3. — С. 64—73.

4. Саати Т. Математические модели конфликтных ситуаций. — М.: “Советское радио”, 1977. —224 с.

Отримано: 17.03.2008 р.