ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

**УДК 658.513.012.12** doi:10.20998/2413-4295.2016.25.10

# МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКА ОТКАЗА ПОДСИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК»

***С. К. МЕЩАНИНОВ*, А. В. ЛЬДОВСКАЯ***

*Кафедра электроники, Днепродзержинский государственный технический университет, Каменское (Днепродзержинск), УКРАИНА*
**email:* sergey.meshaninov@mail.ru, sergey.meshaninov@gmail.com

***АННОТАЦИЯ*** *Предложен набор информативных параметров оценки психофизиологического состояния человека. На основе использования математического аппарата нечеткой логики разработана модель риска отказа подсистемы «человек» человеко-машинной системы. На основе этой модели может быть разработана математическая модель оценки риска отказа человеко-машинной системы и, соответственно, в дальнейшем, имитационная компьютерная модель оценки риска отказа подсистемы «Человек».*
***Ключевые слова*:** Человеко-машинная система, мониторинг, психофизиологическое состояние, нечеткая логика, математическая модель, человек-оператор

# MODEL ASSESSMENT OF RISK OF FAILURE SUBSYSTEM "MAN"

***S. K. MESHCHANINOV*, A. V. L`DOVSKAIA***

*Departmet of Electronics, Dniprodzherzhynsk State University of Technology, Kamenskoye (Dneprodzerzhinsk), UKRAINE*
**email:* sergey.meshaninov@mail.ru

***ABSTRACT*** *There are proposed the method of diagnostics of psychophysiological state of human-operator. There are presented the rationale the choose of informative parameters for evaluation of the psychophysiological state of man. On the basis of the using the mathematical apparatus of fuzzy logic model there are developed by the risk of failure of the subsystem "man" of man-machine system. In the form of a flowchart presents the analysis process incoming to the monitoring/control system, signals (biometric data) about the psychophysical state of the human-operator. One of the parameter groups characterizing the psychophysiological state of human-operator, who, to date, relatively often used in monitoring systems are the parameters of functioning of the human's body. To assess the risk of failure of the system quantitatively and qualitatively, it is necessary to produce aggregated data collected as part of the tree hierarchy, while aggregation is done in the direction of the arcs of the graph hierarchy. The choice of this group of parameters is due, primarily to the fact that their control is easy to provide the contactless research methods. The latter fact is important, because the current production, as well as in everyday life or in training or competition modes athletes are almost always not possible to attach the sensors directly to the human body. The mathematical description of the calculation of risk, given the uncertainty and inaccuracy of the identification of the factors, the large number of assumptions and estimates, based on the theory of fuzzy sets, and suggests one solution algorithm problems, different in their original parametric data. On the basis of use the mathematical apparatus of fuzzy logic has been developed model for calculating the risk of failure of the subsystem "human" human-machine system. A mathematical model of risk assessment of failure of man-machine system and, consequently, in the future, a computer simulation model for evaluating the risk of failure of the subsystem "Man" can be developed on based of this model.*
***Keywords:*** Human-machine system, monitoring psychophysiological state, fuzzy logic, mathematical model, man-operator.

## Введение

В настоящее время в связи с интенсификацией производства всё большим внедрением более сложной техники во все сферы жизнедеятельности человека все более остро возникает необходимость обеспечить безотказную работу машин и различного рода технологического и иного оборудования в различных сферах человеческой деятельности. Все эти негативные проявления, используя технические термины, можно назвать сбоем системы «Человек – Машина - Среда» (ЧМС).

При этом, если вероятность такого сбоя может быть определена на основе данных контроля и прогноза эволюции технического состояния ЧМС и ее элементов, и, в этом случае могут быть приняты определенные меры предосторожности, то, в случае неожиданного отказа системы ЧМС, как правило, возникают крайне негативные экономические, социальные и экологические последствия, избежать которых без проведения предварительных исследований и осуществления мониторинга состояния системы ЧМС в режиме реального времени не представляется возможным.

## Постановка задачи

На сегодняшний день, подсистема «Человек» системы ЧМС, является, на наш взгляд наиболее уязвимым звеном, что обусловлено наибольшей непредсказуемостью функционирования человеческого организма, в первую очередь, его психики, или, как принято сейчас говорить, нестабильностью его психофизиологического состояния (ПС). Исследованиям влияния «человеческого фактора» на надежность

© С. К. МЕЩАНИНОВ, А. В. ЛЬДОВСКАЯ, 2016

функционирования современного производства посвящены многие работы, к примеру, в [1 - 3].

## Цель работы

Таким образом, **целью настоящей работы** является разработка модели оценки риска отказа подсистемы «человек».

Существует довольно большое количество систем предназначенных для диагностики ПС, либо позволяющих ее проводить (системы Mind Reader, Барьер, Крис, Поларг и др). Регулярно появляются новые системы психофизиологической диагностики. Однако ни одна из них не способна выполнять контроль ПС в соответствии со всеми требованиями. Все комплексы осуществляют лишь периодический контроль с довольно большим периодом (от одной до нескольких десятков минут), не позволяющим отслеживать ПС человека в реальном масштабе времени. В большинстве систем используются методики, требующие отрыва обследуемых от работы, либо ограничивающие их возможности.

Одним из основных трудностей на пути к созданию требуемой системы связаны со спецификой регистрируемой информации. Измеряемые параметры с одной стороны слабо коррелированы, а с другой их значения многомодальны и вариабельны от индивидуума к индивидууму. По этой причине возникают сложности при математической обработке и принятии решений.

Одной из групп параметров, характеризующих ПС человека, которые, на сегодняшний день сравнительно часто используются в системах мониторинга, являются параметры, функционирования органа зрения человека. Выбор данной группы параметров обусловлен, в первую очередь тем, что их контроль легко обеспечить с использованием бесконтактных методов исследований. Последнее обстоятельство весьма важно, так как на современном производстве, а также в повседневной жизни или в режимах тренировок или соревнований спортсменов практически всегда отсутствует возможность прикрепить датчики непосредственно к телу человека.

На рис. 1 показана блок-схема анализа поступающих в контролирующе-управляющую систему сигналов биометрической информации о ПС человека-оператора.

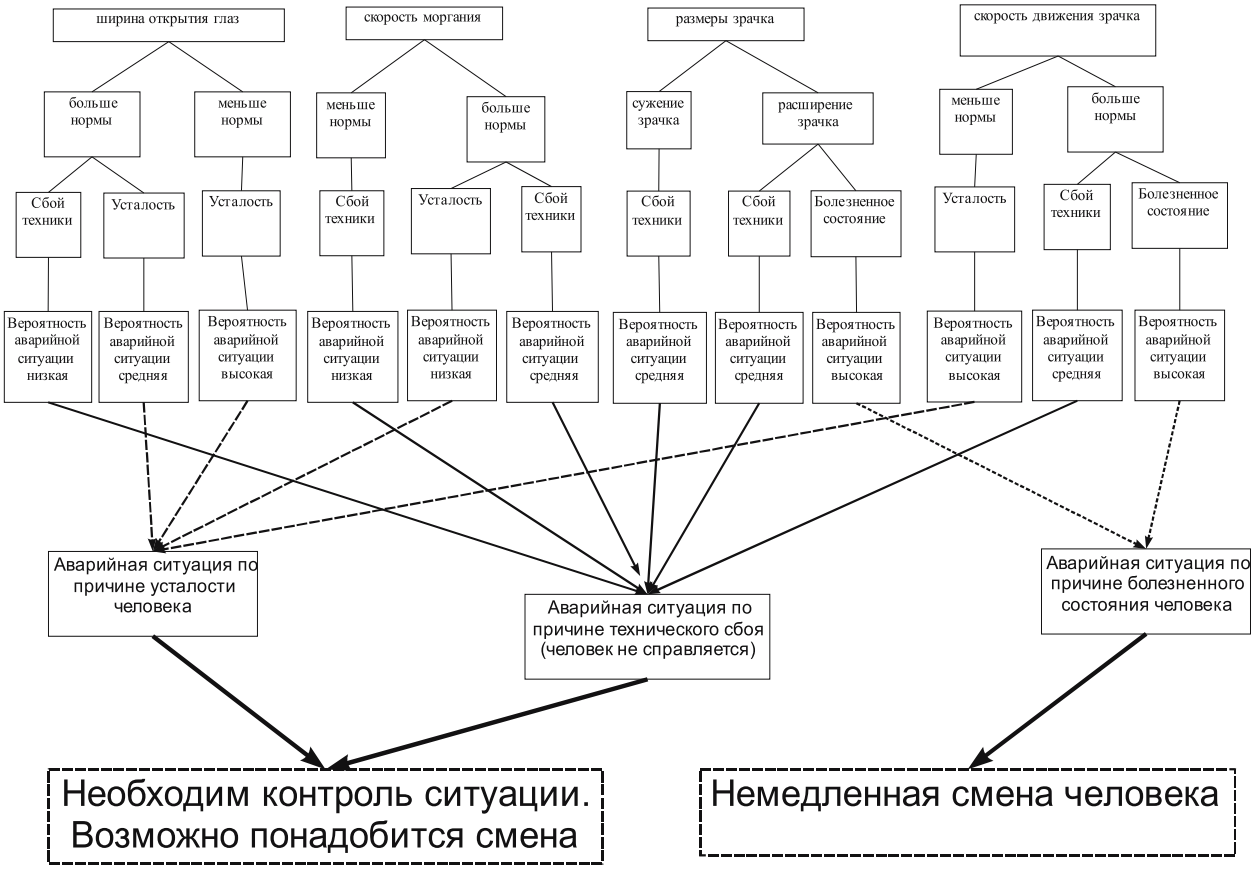


*Рис. 1 – Блок-схема анализа поступающих в контролирующе-управляющую систему сигналов биометрической информации о ПС человека-оператора*

Математическое описание расчета рисков, учитывая неопределенность и неточность идентификации их факторов, наличие большого количества предположений и допущений, базируется на теории нечетких множеств [4, 5, 6] и предполагает решение одним алгоритмом задач, различных по своим

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

исходным параметрическим данным. Воспользуемся далее результатами работ [7, 8, 9].

Может быть предложена следующая последовательность действий:

1. Выбрать оцениваемый вид риска (рис. 1) и уточнить количественные или качественные факторы (параметры) *Ci*, используемые для его описания. Каждый фактор представить в виде лингвистической переменной, имеющей свой носитель X (единицу измерения) со своей областью определения на вещественной оси.

2. На выбранном носителе определить лингвистическую переменную вида «Уровень фактора X», которая обладает трехуровневым («Низкий», «Средний», «Высокий») терм-множеством значений (шкалой).

3. Для каждого значения лингвистической переменной «Уровень фактора X» определить численные значения удельных весов $p_i$ , используя методы:

- пропорциональности:

$$p_i = \frac{2(N - i + 1)}{(N + 1)N}, \quad (1)$$

- равно значимости: $p_i = 1/N$ (2)

4. Каждому значению лингвистической переменной «Уровень фактора X» экспертным путем поставить в соответствие стандартный нечеткий 01-классификатор и функцию принадлежности $\mu_i$ ($x_i$) (рис. 2).

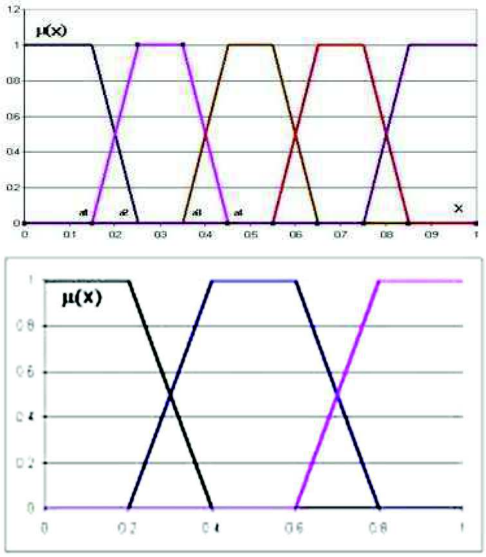


*Рис. 2 – Стандартные пяти- и трехуровневый нечеткие 01-классификаторы*

5. Составить матрицу для оценки показателя агрегированного (в рамках вида) риска (табл. 1).

6. Решить матрицу (табл. 1), определив численное значение показателя агрегированного риска Ai:

$$A_i = \sum_{i=1}^{N} p_i \sum_{j=1}^{5} a_j \mu_{ij}(x_i) \quad (3)$$

Таблица 1 – Матрица для оценки агрегированного показателя риска

| Факторы риска | Значимости (веса) Факторов, pi | Функции принадлежности для уровней факторов риска | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | «Очень низкий» μ1 | «Низкий» μ2 | «Средний» μ3 | «Высокий» μ4 | «Очень высокий» μ5 |
| C1 | 0.4 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 |
| C2 | 0.1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C3 | 0.3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Ci | 0.2 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 |
| Узловые точки αj | | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 |

7. Воспользовавшись стандартным 01-классификатором осуществить контроль (распознавание уровня) полученного значения агрегированного риска Ai.

8. Определить численное значение интегральных показателей рисков Rout :

$$\text{Rout} = \sum_{i=1}^{M} (A_i * w_i), \quad (4)$$

9. Воспользовавшись стандартным 01-классификатором осуществить контроль (распознавание уровня) полученных численных значений показателей рисков Rout (табл. 2).

## Модель риска отказа подсистемы «человек»

Пусть имеется математическая модель риска отказа подсистемы «человек», далее именуемая А-моделью:

$$A = \langle F, U, P \rangle, \quad (5)$$

где F - древовидная иерархия факторов отказа; U – набор качественных оценок уровней каждого фактора в иерархии; P – система отношений предпочтения одних факторов другим для одного уровня иерархии факторов. При этом:

U = {Низкий уровень (H), Средний уровень (C), Высокий уровень (B)},

$$P = \{F_i (\varphi) F_j \mid \varphi \in (\succ, \approx)\}, \quad (6)$$

где $\succ$- отношение предпочтения, ≈ - отношение

Таблица 2 – Классификация уровня интегрального показателя риска Rout на основе стандартного трехуровневого нечеткого 01-классификатора

| Интервал значений Rout | Классификация уровня параметра | Степень оценочной уверенности (функция принадлежности) |
|---|---|---|
| 0 < Rout ≤ 0.2 | Rout _1 | 1 |
| 0.2 < Rout ≤ 0.4 | Rout _1 | μ1 = 5 * (0.4 - Rout) |
| | Rout _2 | μ2=1 - μ1 |
| 0.4 < Rout ≤ 0.6 | Rout _2 | 1 |
| 0.6 < Rout ≤ 0.8 | Rout _2 | μ2 = 10 * (0.8 - Rout) |
| | Rout _3 | μ3= 1 - μ2 |
| 0.8 < Rout ≤ 1.0 | Rout _3 | 1 |

безразличия.

В свою очередь, древовидная иерархия F может быть описана ориентированным графом без циклов, петель, горизонтальных ребер в пределах одного уровня ранжирования, содержащим одну корневую вершину:

$$F = <\{Fi\}, \{Vij\}>, \quad (7)$$

где {Fi}- множество вершин факторов, {Vij} – множество дуг, F0 – корневая вершина, отвечающая риск-фактору системы в целом. При этом в древовидном графе дуги расположены так: началу дуги соответствует вершина нижнего уровня иерархии (ранга), а концу дуги – вершина ранга, на единицу меньшего (рис. 1).

Простейший пример, соответствующий иерархии вида рис. 3.

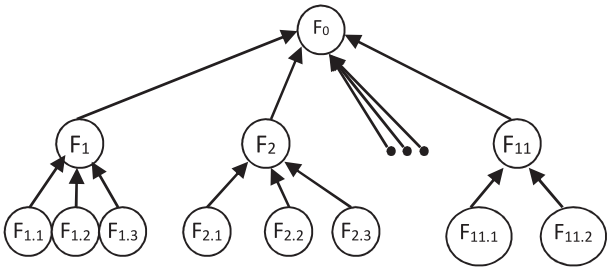


*Рис. 3 – Древовидная иерархия F*

F = <
{
F0 – система ЧМС в целом;
F1 – Ширина открытия глаз ;
F1.1 – Меньше нормы по причине усталости;
F1.2 – Больше нормы по причине усталости ;
F1.3 - Больше нормы по причине сбоя техники;
F2 - Размеры зрачка;
….
F11 – Пол;
};
{связь вершин в графе отображается нумерацией вершин, в соответствии с занимаемым вершиной уровнем иерархии}>.

Разумеется, пример (7) можно сколько угодно расширять, добавляя к графу F новые узлы и дуги. Необходимо еще наложить на эту иерархию систему отношений предпочтений P (рис. 4)

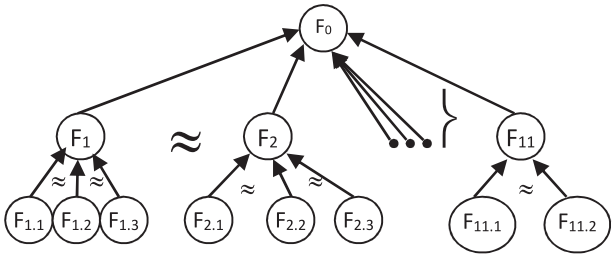


*Рис. 4 – Иерархия F с наложенной на нее системой P*

Рис. 4 соответствует система отношений P:

$$\Phi=\{\Phi1\approx \Phi2\sim \Phi11 \succ \Phi2 \succ \Phi1\sim \Phi1.1\approx \Phi1.2\approx \Phi1.3\sim \Phi2.1 \approx \Phi2.2\approx \Phi2.3;\ \Phi11.1\approx \Phi11.2\} \quad (8)$$

## Метод оценки риска отказа системы

Чтобы произвести оценку риска отказа системы количественно и качественно, необходимо произвести агрегирование данных, собранных в рамках древовидной иерархии; при этом агрегирование совершается по направлению дуг графа иерархии.

Для агрегирования можно использовать матричную схему, описанную в [9, 10], с той лишь разницей, что агрегированию будет подлежать не отдельное значение выбранной функции принадлежности в структуре лингвистической переменной «Уровень фактора», а вся функция принадлежности целиком. В этом случае для агрегирования применяется OWA-оператор Ягера [10], причем весами в свертке выступают коэффициенты Фишберна (OWA -Ordered Weighted Averaging – осреднение с упорядоченными весами).

Раскроем сказанное выше. Сформируем лингвистическую переменную «Уровень фактора» с терм-множеством значений U вида (6). Тогда в качестве семейства функций принадлежности может выступать стандартный трёхуровневый 01-классификатор [11], где функции принадлежности – трапециевидные треугольные числа (рис. 3):

$$H:\ \mu_1(x) = \begin{cases} 1, 0 \le x < 0.2 \\ 5(0.4 - x), 0.2 \le x < 0.4. \\ 1, 0.4 \le x \le 1 \end{cases}$$

$$C:\ \mu_2(x) = \begin{cases} 0, 0 \le x < 0.2 \\ 5(x - 0.2), 0.2 \le x < 0.4 \\ 1, 0.4 \le x < 0.6 \\ 5(0.8 - x), 0.6 \le x < 0.8 \\ 0, 0.8 \le x <= 1 \end{cases} . \quad (9)$$

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

$$B: \mu_3(x) = \begin{cases} 0{,}0 \le x < 0.6 \\ 5(x - 0.6), 06 \le x < 0.8 \\ 1, 0.8 \le x \le 1 \end{cases}$$

Везде в (9) x – это 01–носитель (отрезок [0,1] вещественной оси).

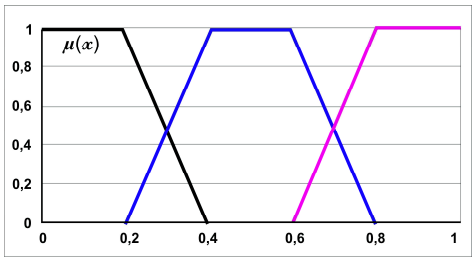


*Рис. 5 – Система трапециевидных функций принадлежности на 01-носителе*

Стандартный классификатор осуществляет проекцию нечеткого лингвистического описания на 01-носитель, при этом делает это непротиворечивым способом, симметрично располагая узлы классификации (0.1, 0.5, 0.9). В этих узлах значение соответствующей функции принадлежности равно единице, а всех остальных функций – нулю. Неуверенность эксперта в классификации убывает (возрастает) линейно с удалением от узла (с приближением к узлу, соответственно); при этом сумма функций принадлежности во всех точках носителя равна единице.

Как хорошо известно [9 – 11], системе убывающего предпочтения N альтернатив наилучшим образом отвечает система снижающихся по правилу арифметической прогрессии весов:

$$P_i = \frac{2(N-i+1)}{(N+1)N}, i = 1..N, \quad (10)$$

а системе безразличных друг другу N альтернатив – набор равных весов

$$p_i = N^{-1}, i = 1..N. \quad (11)$$

Из (10) видно, что веса Фишберна – это рациональные дроби, в знаменателе которых стоит сумма арифметической прогрессии N членов первых членов натурального ряда с шагом 1, а в числителе – убывающие на 1 элементы натурального ряда, от N до 1 (например, 3/6, 2/6, 1/6, в сумме единица). То есть предпочтение по Фишберну выражается в убывании на единицу числителя рациональной дроби весового коэффициента более слабой альтернативы.

Чтобы определить набор весов Фишберна для смешанной системы предпочтений, когда, наряду с предпочтениями, в систему входят отношения безразличия, необходимо определять числители ri рациональных дробей по рекурсивной схеме:

$$r_{i-1} = \begin{cases} r_i, & F_{i-1} \approx F_i \\ r_i + 1, & F_{i-1} \succ F_i \end{cases}, r_N = 1, i = N..2\}. \quad (12)$$

Таким образом, предложенная здесь система весов Фишберна для смешанных систем предпочтений является непротиворечивой и обобщает частные случаи известных систем (10) и (11). Для иллюстрации в таблицу 3 сведены дроби Фишберна для всех смешанных систем отношений предпочтения при N=2...4.

Таблица 3 – Система весов Фишберна (N=2..4)

| N | Ф | p1 | p2 | p3 | p4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | F1≈ F2 | 1/2 | 1/2 | - | - |
| | F1 ≻ F2 | 2/3 | 1/3 | - | - |
| 3 | F1 ≈ F2 ≈ F3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | - |
| | F1 ≻ F2 ≈ F3 | 2/4 | 1/4 | 1/4 | - |
| | F1 ≈ F2 ≻ F3 | 2/5 | 2/5 | 1/5 | - |
| | F1 ≻ F2 ≻ F3 | 3/6 | 2/6 | 1/6 | - |
| 4 | F1 ≈ F2 ≈ F3 ≈ F4 | 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/4 |
| | F1 ≻ F2 ≈ F3 ≈ F4 | 2/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |
| | F1 ≈ F2 ≻ F3 ≈ F4 | 2/6 | 2/6 | 1/6 | 1/6 |
| | F1 ≈ F2 ≈ F3 ≻= F4 | 2/7 | 2/7 | 2/7 | 1/7 |
| | F1 ≻ F2 ≻ F3 ≈ F4 | 3/7 | 2/7 | 1/7 | 1/7 |
| | F1 ≻ F2 ≈ F3 ≻ F4 | 3/8 | 2/8 | 2/8 | 1/8 |
| | F1 ≈ F2 ≻ F3 ≻ F4 | 3/9 | 3/9 | 2/9 | 1/9 |
| | F1 ≻ F2 ≻ F3 ≻ F4 | 4/10 | 3/10 | 2/10 | 1/10 |

Всего вариантов систем предпочтений 2N-1 для каждого числа N сопоставляемых альтернатив.

И наконец, когда по каждому показателю (F*.1… F*.N) на выбранном подуровне (*) иерархии F вида (5) известны лингвистические оценки U = (U*.1 … U*.N), а также определена система весов Фишберна P = (p*.1 … p*.N) на основе системы предпочтений P вида (4), тогда показатель подуровня F* характеризуется своей лингвистической оценкой, определяемой функцией принадлежности на 01-носителе x:

$$\mu_*(x) = \sum_{i-1}^{N} \mu_{*i}(x) \times p_i \quad (13)$$

где

$$\mu_{*i}(x) = \begin{cases} (9.1), \text{если } U_{*i} = \text{"низкий"} \\ (9.2), \text{если } U_{*i} = \text{"средний"} \\ (9.3), \text{если } U_{*i} = \text{"высокий"} \end{cases} \quad (14)$$

Соотношение (13) – это OWA-оператор Ягера, причем, поскольку функции принадлежности (14) имеют трапециевидную форму, то и линейная суперпозиция (13) является трапециевидным нечетким числом. Теперь можно свести операции с функциями принадлежности к операциям с их вершинами. Если обозначить трапециевидное число (14) как ($a_1$, $a_2$), где $a_i$ соответствуют абсциссам вершин трапеции, то выполняется:

$$\sum_{i=1}^{N} p_i \times (a_{i1}, a_{i2}) = (\sum_{i=1}^{N} p_i \times a_{i1}, \sum_{i=1}^{N} p_i \times a_{i2}) \quad (15)$$

Полученную функцию вида (16) необходимо лингвистически распознать, чтобы выработать суждение о качественном уровне показателя F*. Для этого необходимо соотнести полученную функцию $\mu_*(x)$ и функции $\mu_{*i}(x)$ вида (9). Если

$$(\forall x \in [0,1]) \sup \min\left(\mu_*(x), \mu_i(x)\right) = 0 \qquad (16)$$

то уровень показателя F* однозначно не распознается как уровень, которому отвечает i-я «эталонная» функция принадлежности. Стопроцентное распознавание наступает, если выполняется

$$(\forall x \in [0,1]) \min\left(\mu_*(x), \mu_i(x)\right) = \mu_i(x) \qquad (17)$$

Во всех промежуточных случаях необходимо задаться мерой распознавания уровня. Такой мерой может быть разновидность нормы Хемминга ν [9]. Пусть даны два трапециевидных числа (a1, a2) и (b1, b2) на 01-носителе. Тогда степень сходства ν двух таких чисел может быть определена как

$$0 \le \nu = 1 - \max\{|a1 - b1|, |a2 - b2|,\} \le 1. \qquad (18)$$

Мы провели агрегирование показателей низового уровня иерархии F и распознавание агрегированного фактора по шкале U вида (4). Пройдя последовательно снизу вверх по всем уровням иерархии F и применяя соотношения (13) – (18), мы в итоге получаем функцию принадлежности фактора F0 и лингвистическую интерпретацию уровня этого фактора, сопровожденную степенью сходства вида (18).

Сам же риск отказа подсистемы «человек» и его лингвистическая оценка напрямую вытекают из предыдущего изложения. Если сопоставить лингвистические переменные «Уровень фактора F0» и «Степень риска отказа подсистемы «человек»», то можно установить взаимно однозначное соответствие вида табл. 4.

Таблица 4 – Соответствие лингвистических переменных

| № терм-множества | Уровень фактора F0 | Степень риска отказа подсистемы «человек» |
|---|---|---|
| 1 | Н | Опасная (высокая) |
| 2 | С | Пограничная (средняя) |
| 3 | В | Приемлемая (низкая) |

На основе предложенного метода может быть разработана в дальнейшем, имитационная компьютерная модель оценки риска отказа подсистемы «Человек».

## Выводы

Разработаны модель и метод оценки риска отказа подсистемы «Человек» человеко-машинной системы, на основании которых может быть создана в дальнейшем, имитационная компьютерная модель оценки риска отказа подсистемы «Человек».

## Список литературы:

1. **Гражданкин, А. И.** Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов / **А. И. Гражданкин, П. Г. Белов** // *Безопасность труда в промышленности*. – 2000. – № 11. – С. 6-10.
2. **Хенли, Э.** Надежность систем и оценка риска / **Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото** – Машиностроение. – 1984. – 528 с.
3. **Бойко, В. І.** Моделювання надійності функціонування людино-машинних систем в умовах сучасної техносфери / **В. І. Бойко, С. К. Мещанінов** // Дніпродзержинськ. – «ДДТУ». – 2014. – 154 с.
4. Prikladnie nechetkie sistemy: per. s yap. **К. Asayi, D. Vatada, S. Ivai** / pod red. T. Terano, K. Asayi, M. Sugeno. – Moskow: Mir. – 1993. – 368 p.
5. **Фукунага, К.** Введение в статистическую теорию распознавания образов: пер. с англ. Гл. ред физико-математической литературы. – М: Мир. – 1979. – 368 с.
6. **Фомин, Я. А.** Распознавание образов: теория и применения. – М.: ФАЗИС. – 2012. – 429 с.
7. **Фишберн, П**. Теория полезности для принятия решений. – М.: Наука. – 1978. – 242 с.
8. **Лотов, А. В.** Многокритериальные задачи принятия решений: учебное пособие / **А. В. Лотов, И. И. Поспелова** // М: МАКС Пресс. – 2008. – 197 с.
9. **Машунин, Ю. К**. Теория управления. Математический аппарат управления в экономике : [учеб. пособие] / **Ю. К. Машунин**. – М.: Логос. – 2013. – (Новая университетская библиотека).
10. **Kaufmann, A., Gupta, M.** Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications. – Van Nostrand Reinhold. – 1991. – 330 p.
11. **Рыжов, А. П.** Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. – М.: Диалог-МГУ. – 1998. – 242 с.

## Bibliography (transliterated)

1. **Grazdankin, A. I., Belov, P. G.** Expertnaya sistema otsenki tehnogennogo riska opasnih proizvodstvennih ojectov [Expert system of technical risk assessment of hazardous production facilities]. *Bezopasnost truda v promishlennosti [Safety in industry]*, 2000, **11**, 6-10.
2. **Henli E. Dh., Kumamoto, H.** Nadezhnost system i otsenka riska [Reliability of systems and risk assessment], Mashinostroenie, 1984, 528 p.
3. **Boyko, V. I., Meshaninov, S. K**. Modeluvannya nadiynosti funktsionuvannya ludino-mashinnih system v umovah suchasnoyi technosfery [Modelling reliability of man-machine systems in modern technosphere], Dniprodzerzinsk «DDTU», 2014, 154 p.
4. Prikladnie nechetkie sistemy: per. s yap. **K. Asayi, D. Vatada, S. Ivai** /pod red. T. Terano, K. Asayi, M. Sugeno. – M.: Mir, 1993. – 368 p. (russion)
5. **Fukunaga, K**. Vvedenie v statisticheskuyu teoriyu raspoznavaniya obrazov [Introduction to statistical pattern recognition theory]: per. s angl. Gl. red. fiziko-matematicheskoy literaturi, Moskow: Mir, 1979, 368 p.
6. **Fomin, Y. A.** Pattern recognition: theory and application, Moskow: FAZIS, 2012, 429 p.
7. **Fishbern, P.** Teoriya poleznosti dlia priniatiya resheniy [Utility theory for decision making], Moskow: Nauka, 1978, 242 p.
8. **Lotov, A. V., Pospelova, I. I**. Multi-criteria decision-making tasks: textbook. Moskow: MAKS Press, 2008, 197 p.
9. **Machonin, J. K.** Theory of management. The mathematical

ISSN 2079-5459 (print)
ISSN 2413-4295 (online)

apparatus of management : [ucheb. guide]. Moskow: Logos, 2013.
10. **Kaufmann, A., Gupta, M.** Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications. Van Nostrand Reinhold, 1991, 330 p.
11. **Rizhov, A. P**. Elementy teorii nechetkih mnozestv i izmereniya nechetkosti [Elements of the theory of fuzzy sets and measure the fuzziness]. Moskow: Dialog-MGU, 1998, 242 p.

**Сведения об авторах (About authors)**

***Мещанинов Сергей Карминович*** – доктор технических наук, профессор, Днепродзержинский государственный технический университет, заведующий кафедры электроники; г. Каменское (Днепродзержинск), Украина; e-mail: sergey.meshaninov@mail.ru

***Meshaninov S. K.*** – Doktor of Sciencies in Technology, Professor, Chief of Departmet of Electronics at Dniprodzherzhynsk State University of Technology, *Kamenskoye (Dneprodzerzhinsk), UKRAINE*, sergey.meshaninov@mail.ru

***Льдовская Александра Владимировна*** – студентка, Днепродзержинский государственный технический университет, г. Каменское (Днепродзержинск), Украина; e-mail: Alexsa150380@yandex.ua

***L`Dovskaia A. V.*** – student, Dniprodzherzhynsk State University of Technology, Kamenskoye (Dneprodzerzhinsk), UKRAINE; e-mail: Alexsa150380@yandex.ua

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Мещанинов, С. К.** Модель оценки риска отказа подсистемы «человек» / **С. К. Мещанинов, А. В. Льдовская** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 66-72. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.10.

*Please cite this article as:*

**Meshaninov, S. K., L`Dovskaia, A. V.** Model assessment of risk of failure subsystem "man". *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **25** (1197), 66-72, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.10.

*Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

**Мещанінов, С. К.** Модель оцінки ризику відмови підсистеми «людина» / **С. К. Мещанінов, О. В. Льдовська** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 66-72. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.10.

***АНОТАЦІЯ*** *Запропонований вибір інформативних параметрів оцінки психофізіологічного стану людини. На основі використання математичного апарату нечіткої логіки розроблена модель ризику відмови підсистеми «людина» людино-машинної системи. На основі цієї моделі може бути розроблена математична модель оцінки ризику відмови людино-машинної системи і, відповідно, в подальшому, імітаційна комп'ютерна модель оцінки ризику відмови підсистеми «Людина».*
***Ключові слова:*** Людино-машинна система, моніторинг, психофізіологічний стан, нечітка логіка, математична модель, человек-оператор.

*Поступила (received) 02.07.2016*