

НЕЧЕТКО-КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К РАНЖИРОВАНИЮ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Рассматривается подход к моделированию надежности человеко-машинных систем с использованием экспертной информации на основе нечетких когнитивных карт. Новизна подхода состоит в учете взаимодействия факторов, влияющих на надежность системы. Предложен алгоритм оценки индексов важности элементов нечеткой когнитивной карты, с которыми связаны влияющие факторы. Алгоритм иллюстрируется на примере системы «водитель – автомобиль – дорога».

Ключевые слова: нечеткая когнитивная карта, многофакторный анализ, надежность, индекс важности фактора, система «водитель – автомобиль – дорога».

ВВЕДЕНИЕ

Надежность и безопасность человеко-машинной системы зависят от разнородных и взаимовлияющих факторов, связанных со свойствами человека, особенностями технических средств, процесса функционирования и обслуживания, внешней среды и др. Для распределения ресурсов по обеспечению надежности системы необходимо ранжирование влияющих факторов по важности. Многие из этих факторов имеют качественный характер и оцениваются экспертами, что осложняет применение методов планирования эксперимента и регрессионного анализа, традиционных для статистической теории надежности человеко-машинных систем [1–3]. Удобным средством моделирования многофакторных зависимостей на основе экспертной информации являются нечеткие правила «IF — THEN» [4], которые находят широкое применение в анализе надежности [5–7].

Ограничением известных методов эмпирического моделирования, используемых для извлечения закономерностей из наблюдений (регрессионный анализ, нечеткие правила, нейронечеткие сети), является допущение независимости входных переменных, т.е. влияющих факторов.

Новым средством эмпирического моделирования, пока не получившим распространения в теории надежности, являются нечеткие когнитивные карты (НКК) [8].

В настоящей статье рассматривается метод ранжирования взаимодействующих факторов, влияющих на надежность человеко-машинной системы, на основе нечеткой когнитивной карты. В разд. 1 приводятся основные понятия и соотношения, необходимые для моделирования. В разд. 2 предлагается способ ранжирования факторов, влияющих на надежность. В разд. 3 рассматривается пример нечетко-когнитивного моделирования системы «водитель – автомобиль – дорога» и ранжирования факторов, влияющих на уровень ее надежности и безопасности.

1. НЕОБХОДИМЫЕ ПОНЯТИЯ И СООТНОШЕНИЯ

1.1. Общие замечания. Нечеткие когнитивные карты введены Б. Коско [8] как обобщение бинарных когнитивных карт Р. Аксельрода [9], предназначенных для моделирования динамики причинно-следственных связей в социально-политических системах. В этих моделях входные переменные влияют не только на выход (рис. 1, *a*), но и одна на другую (рис. 1, *б*). НКК представляет ориентированный граф со взвешенными дугами, пример которого показан на

рис. 2. Вершины графа C_i , называемые концептами, соответствуют входным и выходным переменным, которые учитываются в модели. Взвешенные дуги графа отражают силу влияния w_{ij} изменения одной переменной C_i на изменение другой переменной C_j .

Термин «когнитивный» говорит о том, что исходными данными для моделирования служат субъективные мнения эксперта, выраженные словами типа «повышается» или «понижается», например «повышение C_i приводит к понижению C_j ». В бинарных когнитивных картах [9] повышение оценивается как $+1$, а понижение — как -1 .

Термин «нечеткие» говорит о том, что НКК [8] используют различные уровни повышения и понижения. Они задаются числами из интервалов $[0, 1]$ и $[0, -1]$, что соответствует термам «слабо», «средне», «сильно» и другим из теории нечетких множеств [4].

С точки зрения теории идентификации [10, 11], которая занимается восстановлением закономерностей по экспериментальным данным, НКК — это аппроксиматор зависимости входы–выход с взаимодействующими входами. Как и любой аппроксиматор, например регрессия, нечеткие правила, нейронная сеть и др., НКК содержит настраиваемые параметры, которые должны оцениваться путем минимизации невязки между модельными и экспериментальными значениями выхода. Если экспериментальные данные входы–выход отсутствуют, то качество модели полностью зависит от квалификации эксперта. Искусство моделирования состоит в том, чтобы компенсировать недостающие экспериментальные данные за счет высокого качества экспертных оценок.

Уместно сопоставить НКК и марковские цепи (процессы), привычные специалистам по надежности. Оба вида моделей — это взвешенные ориентированные графы. В основе различия НКК от марковских моделей надежности лежит принципиальное различие нечеткой логики (причин) и теории вероятности (следствий). На рис. 3 марковские модели отражают динамику вероятностей отказов, а НКК моделируют динамику уровней факторов, которые являются причинами отказов и влияют на вероятность их возникновения.

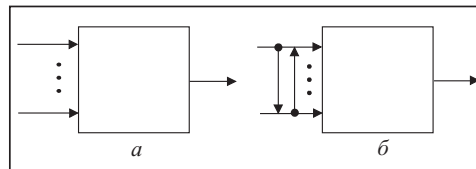


Рис. 1. Взаимосвязь входы–выход: независимые входы (а), зависимые входы (б)

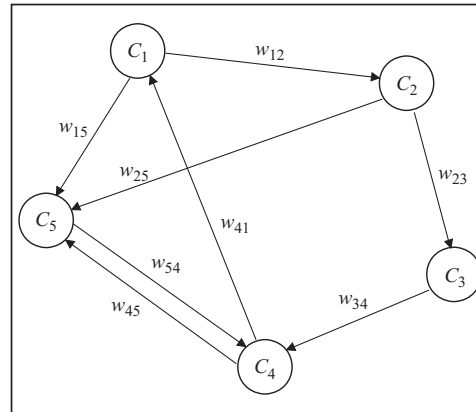


Рис. 2. Пример нечеткой когнитивной карты

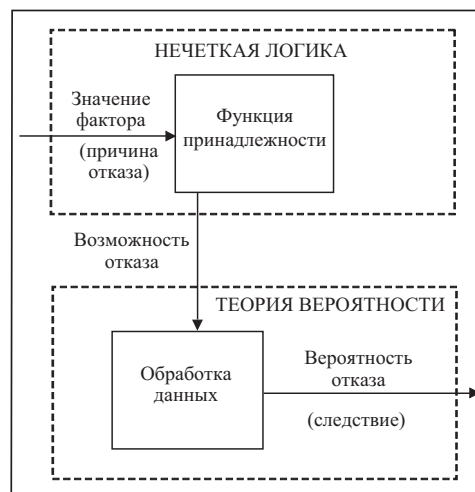


Рис. 3. Взаимосвязь теории вероятности и нечеткой логики в оценке надежности

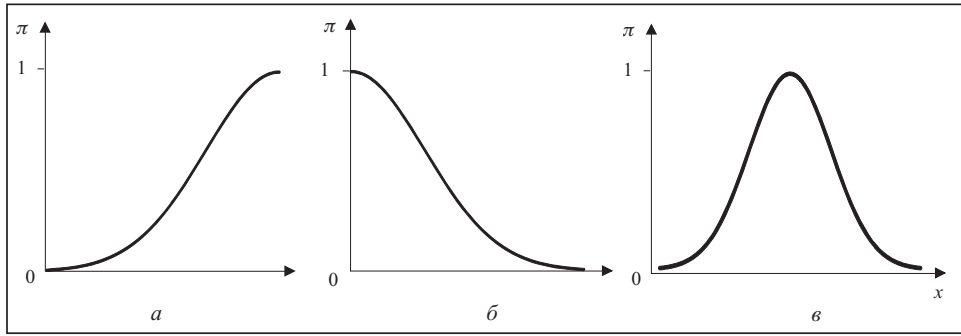


Рис. 4. Функции принадлежности переменной x_i для нечеткой перфектности: неперфектно — перфектно (а), перфектно — неперфектно (б), неперфектно — перфектно — неперфектно (в)

1.2. Концепты. Пусть $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ — известное множество концептов, т.е. переменных, используемых в модели. Согласно [8] каждый концепт $C_i \in C$ оценивается величиной $A_i \in [0, 1]$, которая определяет уровень концепта и задается экспертами. Для получения величины A_i предлагается такой способ. Каждый концепт $C_i \in C$ будем считать лингвистической переменной [4], которая оценивается величиной x_i на универсальном множестве — интервале $[\underline{x}_i, \bar{x}_i]$, где \underline{x}_i (\bar{x}_i) — нижняя (верхняя) граница. Для оценки концепта $C_i \in C$ используем нечеткий терм «перфектность концепта C_i », который обозначается PC_i и представляет собой нечеткое множество:

$$PC_i = \int_{[\underline{x}_i, \bar{x}_i]} \pi(x_i) / x_i,$$

где $\pi(x_i)$ — функция принадлежности переменной x_i к понятию «перфектность концепта C_i ». С помощью этой функции каждой абсолютной оценке $x_i \in [\underline{x}_i, \bar{x}_i]$ ставится в соответствие число $A_i = \pi(x_i) \in [0, 1]$, которое характеризует степень близости значения концепта $C_i \in C$ к некоторому идеалу: 0 — наименьшая перфектность, 1 — наибольшая перфектность. Синонимом понятия «нечеткая перфектность» является терм «нечеткая правильность», для которого функции принадлежности рассматривались в [12]. Варианты нечетких границ между перфектными значениями (1) и неперфектными значениями (0) переменной x показаны на рис. 4, где по мере увеличения значения x происходят следующие переходы: неперфектно (0) — перфектно (1) (рис. 4, а), перфектно (1) — неперфектно (0) (рис. 4, б), неперфектно (0) — перфектно (1) — неперфектно (0) (рис. 4, в).

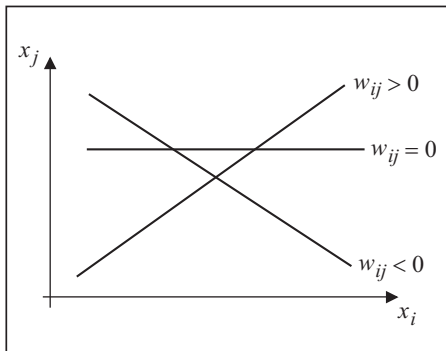


Рис. 5. Виды влияния $C_i \rightarrow C_j$

1.3. Связи между концептами. Вес w_{ij} дуги, соединяющей концепты C_i и C_j , указывает на силу влияния C_i на C_j . Пусть концепты C_i и C_j характеризуются переменными x_i и x_j , а в результате эксперимента удастся построить зависимость $x_j = \varphi(x_i)$. Тогда вес w_{ij} определяется как производная $w_{ij} = dx_j / dx_i$, которая может быть трех видов (рис. 5):

$w_{ij} > 0$, если повышение (понижение) величины x_i приводит к повышению (понижению) величины x_j (положительное влияние C_i на C_j);

$w_{ij} < 0$, если повышение (понижение) величины x_i приводит к понижению (повышению) величины x_j (отрицательное влияние C_i на C_j);

$w_{ij} = 0$, если значение x_j не зависит от значения x_i (отсутствие влияния C_i на C_j).

В случае экспертной оценки величины w_{ij} используется девятибалльная шкала силы влияния: $w_{ij} = \{-1$ (отрицательное очень сильное влияние), -0.75 (отрицательное сильное), -0.5 (отрицательное среднее), -0.25 (отрицательное слабое), 0 (отсутствует влияние), 0.25 (положительное слабое), 0.5 (положительное среднее), 0.75 (положительное сильное), 1 (положительное очень сильное)}. Возможны промежуточные значения.

Для получения экспертных оценок можно воспользоваться методом наименьшего влияния, предложенным в [13].

1.4. Рекуррентные соотношения. Согласно [8, 14] динамика изменения величины концептов в НКК определяется соотношением

$$A_i^{k+1} = f \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n A_j^k w_{ji} + c A_i^k \right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где A_i^{k+1} — величина концепта C_i на шаге $k+1$; A_i^k и A_j^k — величины концептов C_i и C_j на шаге k соответственно; w_{ij} — сила влияния концепта C_j на концепт C_i ; c — параметр, учитывающий предысторию, т.е. вклад значения концепта на предыдущем шаге, $c \in [0, 1]$; f — пороговая функция, благодаря которой величина концепта не превышает единицы.

В настоящей статье предполагается, что $c = 1$, а в качестве пороговой функции используется положительная часть гиперболического тангенса:

$$f(x) = \begin{cases} \tanh(x) & \text{при } x \geq 0, \\ 0 & \text{при } x < 0, \end{cases}$$

где $\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$.

1.5. Матричная модель. Рекуррентное соотношение (1) можно представить в матричной форме

$$A^{k+1} = f(A^k W_0 + c A^k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (2)$$

где $A^k = [A_1^k, A_2^k, \dots, A_n^k]$ — вектор $(1 \times n)$ состояния НКК, элементы которого задают значения концептов на шаге k ,

$$W_0 = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & 0 & \dots & w_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

является матрицей $(n \times n)$ сил влияний концептов C_i одного на другой, в которой диагональные элементы равны нулю.

Если вместо матрицы (3) использовать матрицу $(n \times n)$

$$W = \begin{bmatrix} c & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & c & \dots & w_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & c \end{bmatrix}, \quad (4)$$

в которой все элементы по главной диагонали равны параметру $c \in [0, 1]$, то

соотношение (2) запишем как

$$A^{k+1} = f(A^k W), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (5)$$

которое подобно рекуррентному соотношению для марковской цепи, если принять $f(x) = x$. Принципиальное отличие состоит в том, что марковская цепь моделирует динамику изменения вероятностей событий или события, а НКК моделирует динамику уровня причин, т.е. факторов, приводящих к этим состояниям или событиям.

Начальное состояние НКК определяется вектором

$$A^0 = [A_1^0, A_2^0, \dots, A_n^0], \quad (6)$$

элементы которого отражают значения концептов на шаге $k = 0$. В результате взаимодействия между концептами НКК входит в стационарный режим, который соответствует одному из видов устойчивости [15]: устойчивый фокус, предельный цикл (орбита) или хаотический аттрактор.

2. РАНЖИРОВАНИЕ КОНЦЕПТОВ

При распределении ресурсов на обеспечение надежности системы используются количественные оценки (ранги) важности ее элементов. В статистической теории надежности [16] наибольшее распространение получил индекс важности элемента по Бирнбауму [17], который имеет смысл чувствительности функции надежности системы к изменению надежности элементов. В данном случае элементами модели являются концепты, которые соответствуют факторам, влияющим на надежность системы. Поэтому возникает необходимость вычисления индексов важности концептов НКК.

Во множестве концептов $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ предполагаем следующее: C_n — это концепт — целевая функция, т.е. надежность системы, которая оценивается уровнем $A_n \in [0, 1]$; C_1, C_2, \dots, C_{n-1} — это взаимодействующие один с другим концепты — влияющие факторы, которые оцениваются уровнями $A_i \in [0, 1]$, $i = 1, \dots, n-1$.

Зависимость надежности системы от влияющих факторов обозначим так:

$$A_n^l = F(A_1^0, A_2^0, \dots, A_{n-1}^0), \quad (7)$$

где $A_1^0, A_2^0, \dots, A_{n-1}^0$ — значения концептов-факторов на шаге $l=0$; A_n^l — значение концепта-цели в стационарном режиме, т.е. на таком шаге, когда A_n^l близко к значению A_n^{l-1} . Заметим, что значение A_n^l связано с вероятностным показателем надежности системы соотношением $A_n^{l-1} = \pi(p)$, где $\pi(p)$ — функция принадлежности вероятности (p), безошибочного функционирования системы к понятию «перфектно», форма которой соответствует рис. 4, а.

Пусть $I(C_j)$ — индекс важности концепта C_j . По аналогии с индексом важности Бирнбаума [17] $I(C_j)$ соответствует градиенту функции (7) по направлению $A_j^0 \in [0, 1]$, т.е.

$$\begin{aligned} I(C_j) &= \frac{\partial A_n^l}{\partial A_j} = \frac{F(A_1^0 = 0, \dots, A_j^0 = 1, \dots, A_{n-1}^0 = 0) - F(A_1^0 = 0, \dots, A_j^0 = 0, A_{n-1}^0 = 0)}{1 - 0} = \\ &= F(A_1^0 = 0, \dots, A_j^0 = 1, \dots, A_{n-1}^0 = 0). \end{aligned}$$

Таким образом, индекс важности концепта-фактора $C_j \in C$ по отношению к концепту-цели $C_n \in C$ представляет число $I(C_j) = A_n^l$, где A_n^l — элемент вектора

$$A^l = [A_1^l, A_2^l, \dots, A_n^l], \quad (8)$$

полученного с помощью соотношения (5) при начальном векторе

$$A^0 = [A_1^0 = 0, \dots, A_j^0 = 1, \dots, A_n^0 = 0] \quad (9)$$

на шаге l , при котором $|A_i^{l+1} - A_i^l| < \varepsilon$, где ε — малое положительное число, $i = 1, 2, \dots, n$.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ВОДИТЕЛЬ – АВТОМОБИЛЬ – ДОРОГА»

Нечеткая когнитивная сеть системы приведена на рис. 6, где концепты имеют следующее содержание: C_1 — квалификация водителя, C_2 — дорожные условия, C_3 — удельные затраты на эксплуатацию, C_4 — условия эксплуатации, C_5 — периодичность технического обслуживания, C_6 — качество технического обслуживания и ремонта, C_7 — качество конструкции автомобиля, C_8 — качество эксплуатационных материалов и запасных частей, C_9 — условия хранения, C_{10} — надежность и безопасность автомобиля.

Матрица W (4), в которой принималось $c=1$, имеет вид:

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 1 & 0.3 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 \\ 0 & 0 & -0.4 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0.4 \\ 0 & 0 & -0.6 & 0 & -0.5 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

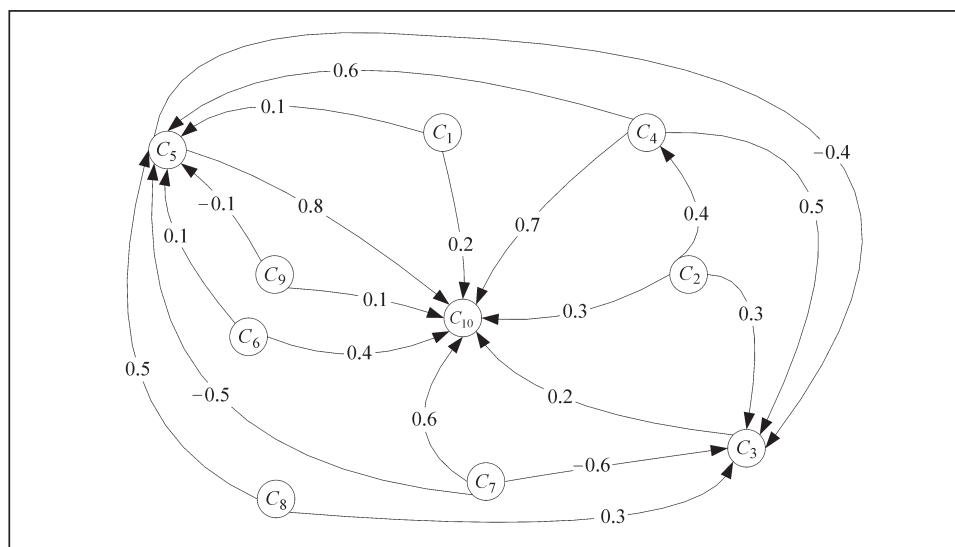


Рис. 6. Нечеткая когнитивная карта системы «водитель – автомобиль – дорога»

Таблица 1. Значения концептов в стационарном состоянии для различных начальных векторов

Шаг	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
1 ... 3040	1 ... 0.022	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.187	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.68579
1 ... 774	0 ... 0.000	1 ... 0.044	0 ... 0.000	0 ... 0.365	0 ... 0.747	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.94834
1 ... 3717	0 ... 0.000	0 ... 0.000	1 ... 0.020	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.22707
1 ... 3014	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	1 ... 0.022	0 ... 0.335	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.79115
1 ... 5324	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	1 ... 0.017	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.33491
1 ... 3196	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.186	1 ... 0.022	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.68912
1 ... 4953	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	1 ... 0.017	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.30912
1 ... 2742	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.321	0 ... 0.000	0 ... 0.000	1 ... 0.023	0 ... 0.000	0 ... 0.77418
1 ... 3086	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	0 ... 0.000	1 ... 0.022	0 ... 0.18667

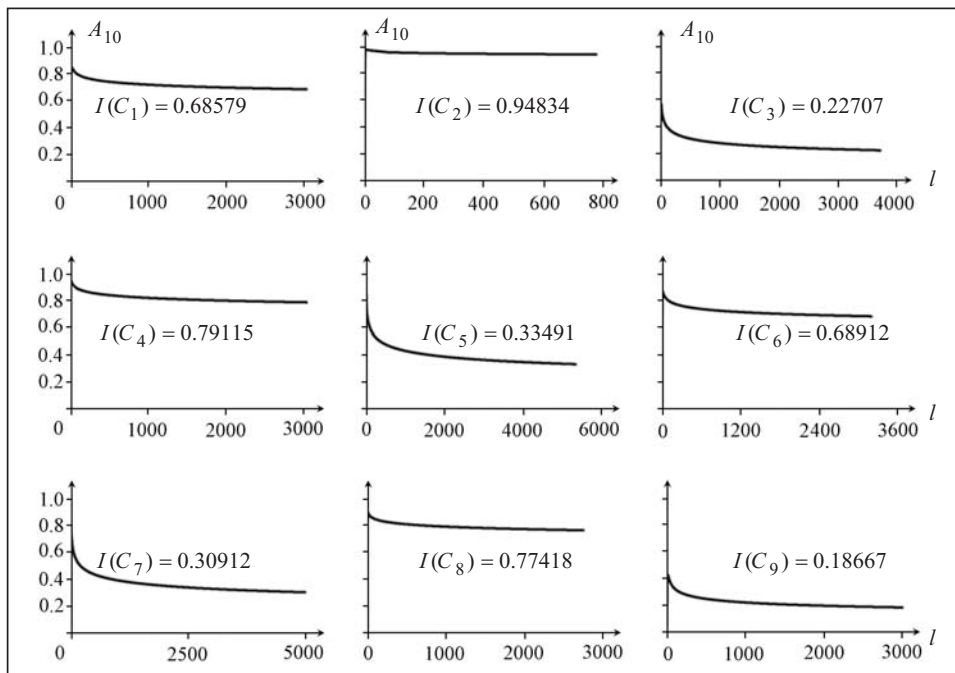


Рис. 7. Пошаговое (l — номер шага) изменение уровня надежности системы A_{10} при вычислении индексов важности факторов

Результаты моделирования системы приведены в табл. 1, которая содержит девять пар векторов, связанных с вычислением индексов важности концептов C_1, \dots, C_9 .

Каждая пара содержит начальный вектор (9) и вектор (8) в установившемся режиме. Последний элемент второго вектора в каждой паре соответствует индексу важности концепта, например $I(C_1) = 0.686$. Пошаговое (l — номер шага) изменение уровня выходного концепта (C_{10} — надежность и безопасность автомобиля) при вычислении индексов важности влияющих факторов представлено на рис. 7. Диаграмма индексов важности показана на рис. 8.

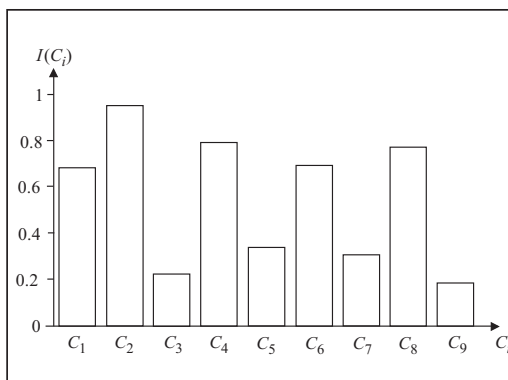


Рис. 8. Диаграмма индексов важности факторов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье рассмотрен метод ранжирования факторов, влияющих на надежность человеко-машинной системы, на основе нечеткой когнитивной карты. Принципиальная особенность метода состоит в учете взаимовлияния факторов между собой.

Носителем модели надежности является ориентированный граф со взвешенными дугами. Вершины графа — это входные и выходная переменные, которые соответствуют уровням влияющих факторов и надежности системы. Дуги графа отражают экспертные оценки силы положительных и отрицательных влияний переменных модели одна на другую. Ранг фактора вычисляется как стационарное значение уровня надежности системы при максимальном (единичном) уровне рассматриваемого фактора.

Достоинство предложенного метода состоит в следующем.

— На основе единого графа учитываются разнородные количественные и качественные факторы, с которыми связаны причины отказов системы: качество материалов, культура производства, обслуживание, условия эксплуатации, квалификация персонала и др.

— По сравнению с нечеткими правилами «IF — THEN» упрощается формирование экспертных знаний, необходимых для моделирования.

— Упрощается процедура расширения числа учитываемых факторов за счет введения дополнительных вершин и дуг графа.

Возможными областями применения метода являются человеко-машинные системы с непрерывным характером деятельности человека, в которых отсутствуют четкие границы между выполняемыми операциями, что затрудняет сбор статистики по вероятностям их правильного выполнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. Ленинград: Наука, 1982. 270 с.
2. Ротштейн А.П., Кузнецов П.Д. Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий. Киев: Техніка, 1992. 180 с.
3. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытание. Под ред. А.И. Губинского, В.Г. Евграфова. Москва: Машиностроение, 1994. 528 с.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. Москва: Мир, 1976. 167 с.
5. Cai K.Y. Introduction on fuzzy reliability. Boston: Kluwer Acad. Publ., 1996. 311 p.
6. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. Винница: Континент — Прим, 1997. 142 с.
7. Уткин Л.В., Шубинский И.Б. Нетрадиционные методы анализа надежности информационных систем. Санкт-Петербург: Любавич, 1998. 173 с.

8. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man–Machine Studies*. 1986. Vol. 24, Iss. 1. P. 65–75.
9. Axelrod R. Structure of decision: The cognitive maps of political elites. Princeton University Press, 1976. 422 p.
10. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. Москва: Наука, 1984. 320 с.
11. Rotshtein A., Rakytyanska H. Fuzzy evidence in identification, forecasting and diagnosis. Berlin: Springer, 2012. 340 p.
12. Ротштейн А.П. Нечетко-алгоритмический анализ надежности сложных систем. *Кибернетика и системный анализ*. 2011. № 6. С. 102–115.
13. Ротштейн А.П. Ранжирование элементов системы на основе нечеткого отношения влияния и транзитивного замыкания. *Кибернетика и системный анализ*. 2017. Т. 53, № 1. С. 68–78.
14. Kosko B. Neural networks and fuzzy systems: A dynamical systems approach to machine intelligence. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992. 449 p.
15. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. Москва: Наука, 1987. 382 с.
16. Barlow R., Proschan F. Statistical theory of reliability and life testing. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1975. 327 p.
17. Birnbaum Z.W. On the importance of different components in a multicomponent system. In: *Multivariate Analysis II*. Krishnaiah P.R. (Ed.). New York: Academic Press, 1969. P. 581–592.

Надійшла до редакції 18.06.2018

О.П. Ротштейн, Д.І. Кательніков, А.А. Кашканов
НЕЧИТКО-КОГНІТИВНИЙ ПІДХІД ДО РАНЖУВАННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ
НА НАДІЙНІСТЬ ЛЮДИНО-МАШИННИХ СИСТЕМ

Анотація. Розглянуто підхід до моделювання надійності людино-машинних систем з використанням експертної інформації на основі нечітких когнітивних карт. Новизна підходу полягає в урахуванні взаємодії факторів, що впливають на надійність системи. Запропоновано алгоритм оцінки індексів важливості елементів нечіткої когнітивної карти, з якими пов'язані впливальні фактори. Дію алгоритму проілюстровано на прикладі системи «водій – автомобіль – дорога».

Ключові слова: нечітка когнітивна карта, багатофакторний аналіз, надійність, індекс важливості фактора, система «водій – автомобіль – дорога».

A. Rotshtein, D. Katielnikov, A. Kashkanov
FUZZY COGNITIVE APPROACH TO RANKING OF FACTORS AFFECTING
THE RELIABILITY OF HUMAN-MACHINE SYSTEMS

Abstract. We consider the approach to modeling of human-machine systems reliability using expert information and fuzzy cognitive map. The novelty of this approach is that the possibility of taking into account the interconnection of the factors affecting the reliability of systems. The paper includes the basic correlations of fuzzy cognitive maps and proposes the algorithm that allows evaluating the importance index of concepts related to the factors that affect the reliability. To demonstrate the proposed approach, we use the system “driver – car – road.”

Keywords: fuzzy cognitive map, multi-factor analysis of reliability, importance factor of concepts, system “driver – car – road.”

Ротштейн Александр Петрович,
 доктор техн. наук, профессор Академического центра Lev — Иерусалимский технологический колледж, Израиль; профессор кафедры Донецкого национального университета имени Василя Стуса, Винница, e-mail: rothstei@g.jct.ac.il.

Кательников Денис Иванович,
 кандидат техн. наук, доцент кафедры Винницкого национального технического университета, e-mail: fuzzy2dik@gmail.com.

Кашканов Андрей Альбертович,
 кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры Винницкого национального технического университета, e-mail: a.kashkanov@gmail.com.