

УДК 004.054; 519.81

Ю.П. Ехлаков, Н.В. Пермякова

Нечеткая когнитивная модель поддержки принятия решений на этапе мониторинга и управления рисками программных проектов

Предложена когнитивная модель определения альтернативных решений по выбору значимых рискообразующих факторов. Представлена постановка задачи в терминах нечетких систем с использованием математического аппарата нечеткой реляционной алгебры. Описан алгоритм получения множества альтернативных решений задачи, приведены результаты экспериментального исследования алгоритма на примере выбора критически важных факторов при реализации программы продвижения на рынок сервиса электронного расписания. Полученное в результате применения алгоритма решение позволило уменьшить число рассматриваемых рискообразующих факторов, что в свою очередь приведет к снижению бюджетной нагрузки на реализацию программы продвижения.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, когнитивная карта, управление рисками, программные проекты.

doi: 10.21293/1818-0442-2019-22-2-96-103

Согласно рекомендациям стандартов по проектному управлению [1–12] при выборе стратегии одним из важных этапов управления рисками является определение множества рискообразующих факторов, требующих немедленного реагирования. Здесь и далее под риском будем понимать неопределенное событие или условие, наступление которого отрицательно или положительно сказывается на целях проекта, таких как содержание, расписание, стоимость и качество [1]. Проявление риска связано с возникновением некоторых событий, которые могут рассматриваться как признаки угрозы проекту, опасности потерь или провала проекта. Такие явления принято называть рискообразующими факторами. Логично предположить, что выполнение мероприятий, воздействующих на такие факторы должно снизить и уровень рисков проекта. Вместе с тем реализация мероприятий может повлечь за собой появление новых рискообразующих факторов. В этом случае менеджеру проекта необходимо рассматривать рискообразующие факторы в динамике с учетом их возможных взаимосвязей, своевременно контролировать состояние как ранее идентифицированных рискообразующих факторов, так и новых, вносить изменения (корректировки) как в множество значимых факторов, так и в перечень первоначально выделенных мероприятий в контексте текущего этапа проекта.

В связи с этим возникает необходимость выбора инструментария, позволяющего рассматривать возможные изменения риска и рискообразующих факторов в динамике, с учетом наличия взаимосвязей между ними. В качестве математического аппарата решения этой задачи в работе предлагается использовать нечеткое когнитивное моделирование (нечеткие когнитивные карты), частным случаем которого является построение нечетко-целевой когнитивной модели для принятия стратегических решений [13–18].

Основу когнитивного моделирования составляет когнитивная карта ситуации, которая представляется в виде взвешенного ориентированного графа.

Вершинами графа является множество объектов, участвующих в ситуации (концепты когнитивной карты). Множество дуг графа, соединяющих вершины, отражает взаимосвязь концептов. Вес дуги характеризует силу связи между концептами и может быть как положительным, так и отрицательным и является показателем интенсивности влияния. Концепты когнитивных карт подразделяются на целевые – описывающие целевое состояние системы, и управляющие – являющиеся потенциально возможными рычагами воздействия на изменение целевого состояния системы. В данном случае в качестве целевых концептов рассматриваются возможные риски программного проекта, а в качестве управляющих концептов – рискообразующие факторы, влияющие на возможное возникновение рисков.

Использование когнитивного моделирования для решения подобного класса задач позволит проводить последовательный анализ причинно-следственных связей между рисками и рискообразующими факторами, идентифицировать и оценивать влияние рискообразующих факторов на различные ситуации при реализации плановых мероприятий, генерировать возможные варианты решений, планировать упреждающие действия по предотвращению потенциально опасных ситуаций при возникновении новых рискообразующих факторов.

Постановка задачи

Риск-менеджер проекта выделил риски программного проекта $A = \{a_i\}, i = \overline{1, \alpha}$ и идентифицировал рискообразующие факторы, способствующие возникновению каждого из рисков $Z = \{z_j\}, j = \overline{1, m}$. На начальном этапе управления рисками риск-менеджер:

- определил для рисков и рискообразующих факторов вероятность проявления в виде множества $P = \{p_j\} \cup \{p_i\}$;
- для каждого рискообразующего фактора z_j сформировал перечень возможных мероприятий $M = \{\{m_1, m_2, \dots, m_l, \dots, m_{nj}\}_k\}, nj = 1, 2, \dots$, выполнение

которых позволит снизить вероятность их наступления;

- оценил для каждого фактора z_j прогнозное изменение вероятности проявления после выполнения мероприятия u_i в виде множества $\Delta P = \{\Delta p_{ji}\}$.

Требуется из перечня возможных мероприятий M выделить множество плановых мероприятий, $M^* = \{m^g\}_k, k=1,2,\dots$, выполнение которых позволит достичь желаемых значений вероятности наступления риска $P^g = \{p_i^g\}$. Желаемые значения вероятности проявления рисков определяются в соответствии с пороговым значением риска проекта (риск-аппетита).

В терминах нечетких систем эта задача может быть представлена в следующем виде.

Для оценки вероятности рисков и рискообразующих факторов риск-менеджер проекта определяет качественную шкалу измерения в виде лингвистической переменной, которая задается следующим кортежем $\langle p, T_p, X_p, M_p \rangle$, где p – имя лингвистической переменной, T_p – множество термов лингвистической переменной, мощность которого зависит от количества градаций качественной шкалы, используемой для оценки, X_p – универсум нечетких переменных, M_p – семантическая процедура, формирующая нечеткие множества для каждого возможного значения переменной, используя при этом функции принадлежности, параметры которых определяются экспертами [19].

Для измерения интенсивности влияния рисков и рискообразующих факторов друг на друга определяется лингвистическая переменная $\langle w, T_w, X_w, M_w \rangle$, где мощность множества термов T_w соответствует количеству качественных градаций оценки силы влияния, универсум нечетких переменных X_w определяется как интервал $[-1, 1]$.

Описание причинно-следственных связей, отражающих взаимовлияния рисков и рискообразующих факторов, сводится к построению ориентированного графа $G(E, W)$, в котором множество вершин $E = A \cup Z^u$ является множеством концептов, а множество дуг W , соединяющих вершины, отражает направление влияния концептов. Вес дуги $w_{ij} = w(e_i, e_j)$, $w_{ij} \in T_w$ характеризует силу связи между концептами. Формально когнитивная карта представляется когнитивной нечеткой матрицей $\mathbf{W} = [w_{ij}]_{n \times n}$, $n = |E|$.

Риск-менеджер проекта выделяет в ориентированном графе $G(E, W)$ один или несколько рисков $a_i \in E$ в качестве целевого концепта/концептов и множество рискообразующих факторов $z_i \in E$, влияющих на возможное возникновение риска / рисков в качестве управляющих концептов.

Взаимовлияние концептов, отраженное в $G(E, W)$, позволяет предположить, что выполнение мероприятий приведет к изменению вероятности управляющих концептов (рискообразующих факторов) и как следствие к изменению и вероятности целевых концептов (рисков). Согласно [13] этот процесс определяется по правилу

$$\mathbf{s}^T(t+1) = \mathbf{s}^T(t) \circ \mathbf{W}, \quad (1)$$

где $\mathbf{s}(t)$ – вектор состояний когнитивной карты, $\mathbf{W} = [w_{ij}]_{n \times n}$ когнитивная нечеткая матрица, \circ – операция макстриангулярной композиции.

Двойка $\langle \mathbf{s}^T(t), \mathbf{W} \rangle$ называется когнитивной системой.

При разделении вектора состояний когнитивной системы на векторы управляемых концептов – $\mathbf{u}(t)$, концептов состояний – $\mathbf{x}(t)$, выходных (целевых) концептов – $\mathbf{y}(t)$ и соответствующем разделении матрицы \mathbf{W} на матрицы \mathbf{A} – состояния, \mathbf{B} – управления и \mathbf{C} – выхода выражение (1) может быть представлено как

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t+1) &= \mathbf{A} \circ \mathbf{x}(t) \vee \mathbf{B} \circ \mathbf{u}(t), \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{C} \circ \mathbf{x}(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где \vee – операция max.

Если управляющие факторы напрямую воздействуют на целевые концепты, то уравнение, соответствующее выходам, примет вид

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C} \circ \mathbf{x}(t) \vee \mathbf{D} \circ \mathbf{u}(t), \quad (3)$$

где \mathbf{D} – матрица, связывающая управляющие и целевые концепты.

Система, описанная выражениями (2), (3), называется управляемой когнитивной системой [13].

На текущем этапе управления рисками менеджер проекта должен задать значения векторов $\mathbf{x}(t)$ как соответствующие элементы множества P и вектор \mathbf{g}_y , содержащий желаемые значения вероятностей наступления рисков из множества P_g .

Необходимо найти множество непустых векторов решений $U = \{\mathbf{u}^q | q > 0\}$, которое обеспечит решение матричного уравнения

$$\mathbf{g}_y = \mathbf{Pm} \circ \mathbf{u}, \quad (4)$$

где $\mathbf{u} \in U$, $\mathbf{Pm} = \mathbf{C} \circ \mathbf{A}^* \circ \mathbf{B} \vee \mathbf{D}$ – передаточная матрица, \mathbf{A}^* – транзитивное замыкание матрицы \mathbf{A} .

Выражение (4) представляет собой нечеткое реляционное уравнение, которое имеет одну верхнюю границу решения и множество нижних решений [13, 20]. Таким образом, задача поддержки принятия решений сводится к решению уравнения (4) и заключается в поиске множества начальных векторов управляющих концептов – рискообразующих факторов при заданном нечетком векторе цели – желаемых значениях вероятности наступления рисков.

Алгоритм формирования множества возможных альтернативных решений

Для определения условия формирования множества альтернативных решений введем следующие определения нечеткой математики [13].

Нечеткая матрица

$$\mathbf{A} = [a_{ij}]_{n \times m}, 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m, a_{ij} \in [0, 1].$$

T-норма

Функция $T: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ такая, что для всех

$x, y, z \in [0, 1]$ выполняются условия:

1. $T(0, x) = 0$.
2. $T(1, x) = 1$.
3. $T(x, y) = T(y, x)$.
4. $T(x, y) \leq T(x, z)$ если $y \leq z$.
5. $T(T(x, y), z) = T(x, T(y, z))$.

Макстриангулярная композиция

(*T-произведение*)

$$\mathbf{R} \circ \mathbf{Q} = \left[\bigvee_{j=1}^m r_{ij} T q_{jk} \right]_{n \times l},$$

где $\mathbf{R} = [r_{ij}]_{n \times m}$ и $\mathbf{Q} = [q_{jk}]_{m \times l}$ – нечеткие матрицы.

Транзитивное замыкание – \mathbf{A}^* – может быть найдено как

$$\mathbf{A}^* = \bigvee_{k=1}^{\infty} \mathbf{A}^k,$$

где $\mathbf{A} = [a_{ij}]_{n \times n}$ – нечеткая матрица.

Псевдообратная функция

$$f^{(-1)}(y) = \begin{cases} f^{(-1)}(y), & y \in [0, f(0)] \\ 0, & y \in (f(0), \infty) \end{cases}.$$

Операция определения псевдообратного элемента. Элемент c называется псевдообратным элементу a относительно b , если c – наибольший элемент со свойствами $aTc \leq b$, $a, b \in [0, 1]$.

Операция определения псевдообратного элемента обозначается φ .

Композиция φ нечетких матриц определяется как

$$\mathbf{R}\varphi\mathbf{Q} = \left[\bigwedge_{j=1}^m r_{ij} \varphi q_{jk} \right]_{n \times l}.$$

Вектор $\varphi(a)$ и множество векторов $\Phi(a)$

Пусть дан нечеткий вектор $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)^T$.

Множество $\Phi(a)$ векторов $\varphi(a)$ –

$$\Phi(a) = \{\varphi(a)\},$$

где $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m)^T$, $\exists i: \varphi_i = a_i, \forall j \neq i \varphi_j = 0; \bigvee_{k=1}^m \varphi(a_k) = a$.

β -композиция

$$\forall a, b \in [0, 1], a\beta b = \begin{cases} 0, & a < b, \\ b, & a \leq b. \end{cases}$$

ε -композиция

$$\forall a, b \in [0, 1], a\varepsilon b = \begin{cases} 0, & a < b \\ f^{(-1)}(f(a) - f(b)), & a \leq b. \end{cases}$$

δ -композиция

$\mathbf{R} = [r_{ij}]_{n \times m}$ – нечеткая матрица,

$\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ – нечеткий вектор.

$$\mathbf{R}\delta\mathbf{b} = \mathbf{S} = [s_{ij}]_{m \times n}$$

$$s_{ij} = \left(\bigwedge_{k=1}^n (r_{ik} \delta b_k) \right) \beta (r_{ij} \varepsilon b_j).$$

Множество решений уравнения (4) определяется из условия

$$\forall \varphi(\mathbf{Pm}^T \delta \mathbf{g}_y) \leq \mathbf{u} \leq \mathbf{Pm}^T \hat{\varphi} \mathbf{g}_y,$$

$$\forall \varphi(\mathbf{Pm}^T \delta \mathbf{g}_y) \in \Phi(\mathbf{Pm}^T \delta \mathbf{g}_y),$$

где $\mathbf{Pm}^T \hat{\varphi} \mathbf{g}_y$ – верхняя граница решения уравнения (4), $\forall \varphi(\mathbf{Pm}^T \delta \mathbf{g}_y)$ – множество нижних границ уравнения (4).

С учетом введенных обозначений алгоритм поиска возможных альтернативных решений может быть представлен в виде следующей последовательности:

Шаг 1. Определение значений вектора целей \mathbf{g}_y .

Шаг 2. Разделение матрицы \mathbf{W} . Получение матриц \mathbf{A} , \mathbf{C} , \mathbf{B} .

Шаг 3. Получение матрицы транзитивного замыкания \mathbf{A}^ .*

Шаг 4. Определение передаточной матрицы Pm .

Шаг 5. Получение верхней границы решения

$$\hat{\mathbf{u}} = \mathbf{Pm}^T \hat{\varphi} \mathbf{g}_y.$$

Шаг 7. Получение множества нижних решений $\forall \varphi(\mathbf{Pm}^T \delta \mathbf{g}_y)$.

Апробация и экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования предложенных модели и алгоритма проводились на примере формирования множества альтернатив возможных решений при управлении рисками этапа продвижения программного продукта (ПП) «Сервис ведения электронного расписания FlipTable». Разработанный ПП может быть предоставлен потенциальным потребителям по двум бизнес-моделям – программное обеспечение как сервис (SaaS) и как свободное программное обеспечение (СПО) [21]. Основываясь на положительном опыте внедрения сервиса как одного из компонентов электронно-информационной образовательной среды в ТУСУР, коллективом разработчиков были проведены маркетинговые исследования и принято решение о продвижении ПП в образовательные организации Кемеровской области, при этом для профессиональных образовательных организаций (ПОУ) предлагается SaaS-версия, для высших учебных заведений (вузы) – СПО-версия [22].

В качестве инструментов интернет-маркетинга были выбраны рекламные площадки Кемеровской области. Возможный риск реализации программы продвижения был определен как «срыв плана по количеству продаж в заданном интервале времени реализации программы продвижения». Для оценки вероятности проявления рисков и рискообразующих факторов и интенсивности их влияния друг на друга использовались качественные шкалы.

Множество рискообразующих факторов, способствующих наступлению риска, и вероятность их возможного проявления представлены в табл. 1.

Таблица 1
Значимые рискообразующие факторы

Обозначение	Фактор	Вероятность
z_1	Изменение нормативного регулирования бизнес-процессов у потенциальных потребителей	Средняя
z_2	Появление на рынке новых аналогичных продуктов	Высокая
z_3	Пиратское распространение копий ПП	Очень низкая
z_4	Несоответствие функциональных характеристик ПП потребностям потребителей	Средняя
z_5	Несоответствие предлагаемой цены ПП ожиданиям потребителей	Высокая
z_6	Недостаточные навыки владения исполнителями информационными технологиями продвижения	Средняя
z_7	Ошибочный выбор целевого сегмента	Очень высокая
z_8	Ошибки в расчетах финансовых затрат на продвижение	Высокая
z_9	Ошибки при выборе потребительских предпочтений	Очень высокая
z_{10}	Ошибки выбора каналов и инструментов коммуникаций	Высокая
z_{11}	Недостаточная проработка коммуникационных сообщений	Очень высокая
z_{12}	Низкий уровень организации обратной связи	Средняя

В соответствии с выбранной шкалой оценивания определены лингвистические переменные «Вероятность проявления» (табл. 2) и «Интенсивность влияния» (табл. 3).

Соответственно графики функций принадлежности термов лингвистической переменной «Вероятность проявления» и «Интенсивность влияния» представлены на рис. 1 и 2.

Таблица 2

Терм/ категория	Вероятность проявления	
	Интервал	Функция принадлежности
Очень низкая	0–0,2	$\mu_1^p(x) = \begin{cases} 1, & x < 0 \\ 1 - \frac{x}{0,2}, & 0 \leq x < 0,2 \\ 0, & x \geq 0,2 \end{cases}$
Низкая	0,1–0,4	$\mu_2^p(x) = \begin{cases} 0, & x < 0,1 \\ 1 - \frac{0,2-x}{0,1}, & 0,1 \leq x < 0,2 \\ 1, & 0,2 \leq x < 0,3 \\ 1 - \frac{x-0,3}{0,1}, & 0,3 \leq x < 0,4 \\ 0, & x \geq 0,4 \end{cases}$
Средняя	0,3–0,6	$\mu_3^p(x) = \begin{cases} 0, & x < 0,3 \\ 1 - \frac{0,4-x}{0,1}, & 0,3 \leq x < 0,4 \\ 1, & 0,4 \leq x < 0,5 \\ 1 - \frac{x-0,5}{0,1}, & 0,5 \leq x < 0,6 \\ 0, & x \geq 0,6 \end{cases}$
Высокая	0,5–0,8	$\mu_4^p(x) = \begin{cases} 0, & x < 0,5 \\ 1 - \frac{0,6-x}{0,1}, & 0,5 \leq x < 0,6 \\ 1, & 0,6 \leq x < 0,7 \\ 1 - \frac{x-0,7}{0,1}, & 0,7 \leq x < 0,8 \\ 0, & x \geq 0,8 \end{cases}$
Очень высокая	0,7–1	$\mu_5^p(x) = \begin{cases} 0, & x < 0,7 \\ \frac{x-0,7}{0,3}, & 0,7 \leq x < 1 \\ 1, & x \geq 1 \end{cases}$

Таблица 3

Терм/ категория	Интенсивность влияния	
	Интервал	Функция принадлежности
Слабая	0–0,4	$\mu_1^w(x) = \begin{cases} 1, & x < 0 \\ 1 - \frac{x}{0,4}, & 0 \leq x < 0,4 \\ 0, & x \geq 0,4 \end{cases}$
Средняя	0,3–0,7	$\mu_2^w(x) = \begin{cases} 0, & x < 0,3 \\ 1 - \frac{0,4-x}{0,1}, & 0,3 \leq x < 0,4 \\ 1, & 0,4 \leq x < 0,5 \\ 1 - \frac{x-0,5}{0,2}, & 0,5 \leq x < 0,7 \\ 0, & x \geq 0,7 \end{cases}$
Высокая	0,6–1	$\mu_3^w(x) = \begin{cases} 0, & x < 0,6 \\ \frac{x-0,6}{0,4}, & 0,6 \leq x < 1 \\ 1, & x \geq 1 \end{cases}$

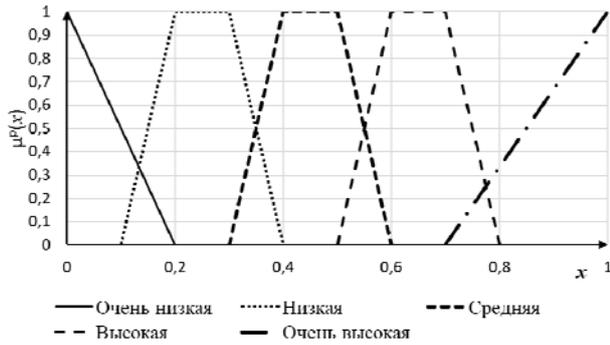


Рис. 1. Графики функций принадлежности термов лингвистической переменной «Вероятность проявления»

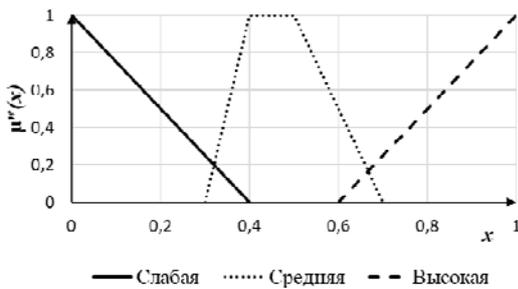


Рис. 2. Графики функций принадлежности термов лингвистической переменной «Интенсивность влияния»

Когнитивная карта взаимовлияния риска и рискообразующих факторов представлена на рис. 3, а соответствующая ее структуре когнитивная матрица W , определяющая интенсивность влияния концептов, на рис. 4. Интенсивность влияния определялась согласно шкале, представленной в табл. 2.

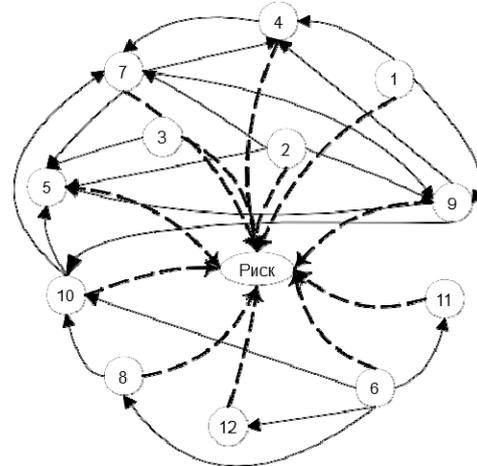


Рис. 3. Когнитивная карта взаимовлияния риска и рискообразующих факторов

	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9	z_{10}	z_{11}	z_{12}	Риск
z_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0	0	0	0,5
z_2	0	0	0	0	0,5	0	1	0	0,7	0	0	0	0,4
z_3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,1
z_4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,9
z_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8
z_6	z_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0,7	0,7	0,6
z_7	0	0	0	0,9	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0,8
z_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0	0	0,7
z_9	0	0	0	0,9	0,8	0	0	0	0	0,8	0	0	0,3
z_{10}	0	0	0	0	0,3	0	0,9	0	0	0	0	0	0,4
z_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3
z_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3
Риск	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 4. Когнитивная матрица W , определяющая интенсивность влияния концептов

На текущем этапе выполнения программы вероятность проявления риска оценена как «высокая» (0,8). Было принято начальное условие, что для успешного завершения программы продвижения вероятность возможного риска не должна превышать значения 0,1 («очень низкая»). Управляемыми концептами выбраны рискообразующие факторы $z_6 - z_{12}$. Необходимо найти решение уравнения (3), являющееся множеством векторов

$$u = \left\{ \left[\Delta p_1^{z_3}, \Delta p_1^{z_4}, \dots, \Delta p_1^{z_{12}} \right], \left[\Delta p_2^{z_3}, \Delta p_2^{z_4}, \dots, \Delta p_2^{z_{12}} \right], \dots \right\},$$

значения которых $\Delta p_k^{z_j}$ – изменения оценок вероятностей наступления управляемых факторов z_j в решении k .

В дальнейших расчетах в качестве T -нормы использовалась T -норма Лукасевича

$$T(x, y) = \sqrt{x + y - 1, 0}$$

и операция определения псевдообратного элемента

$$a \circ b = \begin{cases} 1, a \leq b, \\ b, a > b. \end{cases}$$

Шаг 1. Определение вектора целей – желаемое значение целевого концепта «Риск»

$$g_y = [0,7] - \text{вероятность риска.}$$

Шаг 2. Разделение матрицы W

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,9 & 0 & 0,9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,8 & 0 & 0,8 & 0,3 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$C = (0,5 \ 0,4 \ 0,1 \ 0,9 \ 0,8),$$

$$D = (0,6 \ 0,8 \ 0,7 \ 0,3 \ 0,4 \ 0,3 \ 0,3).$$

Шаг 3. Получение матрицы транзитивного замыкания

$$A^* = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Шаг 4. Определение передаточной матрицы

$$C \circ A^* = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,1),$$

$$Pm = C \circ A^* \circ B \vee D = (0,6 \ 0,8 \ 0,7 \ 0,3 \ 0,4 \ 0,3 \ 0,3).$$

Шаг 5. Получение верхней границы решения

$$\hat{u} = (-1 \ -0,9 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1).$$

Полученное решение позволяет сделать вывод, о том, что снижение уровня риска реализации программы продвижения может быть достигнуто при выполнении мероприятий, направленных на уменьшение вероятности всех рискообразующих факторов, определенных ранее в качестве управляемых концептов. Значения вектора $\hat{u} \in [-1; -0,9]$ говорят о том, что выполнение на текущем этапе реализации программы продвижения плановых мероприятий

$$M^* = \left\{ \left\{ m_{z_6}^g, m_{z_7}^g, m_{z_8}^g, m_{z_9}^g, m_{z_{10}}^g, m_{z_{11}}^g, m_{z_{12}}^g \right\}_i \right\}$$

должно привести к полной нейтрализации факторов: z_6 – недостаточные навыки владения исполнителями информационными технологиями продвижения, z_7 – ошибочный выбор целевого сегмента, z_8 – ошибки в расчетах финансовых затрат на продвижение, z_9 – ошибки при выборе потребительских предпочтений, z_{10} – ошибки выбора каналов и инструментов коммуникаций, z_{11} – недостаточная проработка коммуникационных сообщений, z_{12} – низкий уровень организации обратной связи.

Динамика изменения вероятностей риска и рискообразующих факторов при принятии такого решения показана на рис. 5. Наряду с уменьшением вероятности управляемых рискообразующих факторов реализация мероприятий положительно повлияет и на факторы z_4 – несоответствие функциональных характеристик ПП потребностям потребителей и z_5 – несоответствие предлагаемой цены ПП ожиданиям потребителей.

Шаг 6. Получение множества нижних границ решения.

План мероприятий M^* по реагированию на все управляемые рискообразующие факторы может привести к большим затратам. Поэтому для возможного снижения затрат без потери качества снижения уровня риска целесообразно получить и проанализировать

нижние границы решения. В данном случае было найдено два нижних решения:

$$u_1 = (0 \ -0,9 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0),$$

$$u_2 = (0 \ 0 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0).$$

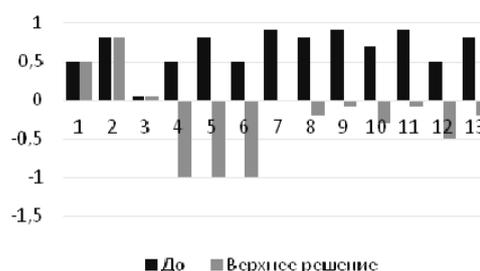


Рис. 5. Динамика изменения вероятностей риска и рискообразующих факторов при принятии верхнего решения

На основании нижних решений можно сделать вывод о том, что в текущем интервале реализации программы продвижения можно включать в план мероприятий M^* мероприятия только по нейтрализации фактора, z_7 – ошибочный выбор целевого сегмента (согласно решению u_1) и z_8 – ошибки в расчетах финансовых затрат на продвижение (согласно решению u_2).

Динамика изменения вероятностей риска и рискообразующих факторов приведена на рис. 6. Первое нижнее решение так же, как и верхнее, положительно влияет на факторы z_4 и z_5 . Второе нижнее решение положительно влияет только на целевой фактор – риск срыва плана по количеству продаж в заданном интервале времени реализации программы продвижения.

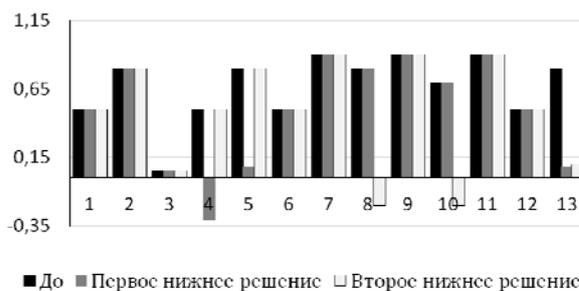


Рис. 6. Динамика изменения риска и рискообразующих факторов при принятии нижних решений

Полученные решения были приняты командой разработчиков в качестве рекомендаций по реагированию на возможные негативные проявления выделенных критичных рискообразующих факторов при продвижении ПП, в табл. 4 приведен перечень плановых мероприятий.

Заключение

Предложенный подход к управлению рисками программных проектов, основанный на нечетких когнитивных моделях и математическом аппарате нечеткой реляционной алгебры, позволяет из множества идентифицированных рискообразующих факторов, влияющих на риск, выделить и оценить

альтернативные варианты решений по выбору рискообразующих факторов, требующих немедленного реагирования.

Таблица 4

Перечень мероприятий	
Фактор	Мероприятия
z_7 – ошибочный выбор целевого сегмента	Уточнение профиля выделенного сегмента (требования потенциальных покупателей к ПП, потребности покупателей, ценовой сегмент). Проведение пробных продаж
z_8 – ошибки в расчетах финансовых затрат на продвижение	Уточнение маркетингового комплекса программы продвижения с учетом профиля выбранного целевого сегмента – выбор средств рекламной кампании, содержания и длительности рекламы. Детальный анализ сведений по статистике и конверсиям на планируемых рекламных площадках. Применение методики волнового планирования

Анализ результатов практической апробации позволяет сделать вывод о пригодности предложенной модели и алгоритма для решения практических задач. Сформированное на основе нижних границ решение позволило команде проекта сократить на 70% число рискообразующих факторов, влияющих на риск срыва плана по количеству продаж в заданном интервале времени реализации программы продвижения, при условии, что вероятность возможного риска не должна превышать значения 0,1 («очень низкая»). В свою очередь, предлагаемое решение приведет к снижению бюджетной нагрузки на реализацию программы продвижения.

В практическом плане материалы статьи могут быть использованы руководителями малых ИТ-компаний и риск-менеджерами программных проектов на этапе мониторинга и управления рисками для выделения значимых факторов, требующих немедленного реагирования.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № 8.8184.2017/8.9.

Литература

1. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК). – 4-е изд. – М.: Project Management Institute, 2013. – 586 с.
2. BS 6079-1:2010 Project management. Part 3: Guide to the management of business related project risk. – London: BSI, 2003. – 27 p.
3. Ярошенко Ф.А. Р2М. Управление инновационными проектами и программами / Ф.А. Ярошенко, С.Д. Бушнев, Х. Танака. – СПб.: Проф-лит., 2015. – 320 с.
4. APM. Body of knowledge, 6-th edition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.apm.org.uk/body-of-knowledge/>, свободный (дата обращения: 09.08.2018).
5. DIN 69901-1 Projektmanagement – Projektmanagementsysteme – Teil1: Grundlagen. – Berlin: Normenausschuss Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ) im DIN, 2009. – 30 p.
6. Hinde D. PRINCE 2. Study Guide / D. Hinde – New Jersey: John Wiley and Sons, Ltd, 2012. – 528 p.

7. ГОСТ Р 54869–2011. Требования к управлению проектом. – М.: Стандартинформ, 2011. – 14 с.

8. ГОСТ Р ИСО 21500–2014. Руководство по проектному менеджменту. – М.: Стандартинформ, 2014. – 50 с.

9. ГОСТ Р ИСО 10006–2005. Руководство по менеджменту качества при проектировании. – М.: Стандартинформ, 2005. – 28 с.

10. ISO 1006:2017. Quality Management Systems: Guidelines for Quality Management in Projects [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10006:ed-3:vl:en>, свободный (дата обращения: 09.08.2018).

11. ГОСТ Р ИСО 31000–2010. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – М.: Стандартинформ, 2010. – 20 с.

12. ISO 31000:2009. Risk management – Principles and guidelines [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/ru/standard/43170.html>, свободный (дата обращения: 09.08.2018).

13. Силев В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. – М.: ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.

14. Максимов В.И. Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений / В.И. Максимов, Е.К. Корноушенко, С.В. Качаев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/bpa/092aa276c601a997c32568c0003ab839>, свободный (дата обращения: 20.01.2016).

15. Пылькин А.Н. Методология когнитивного анализа в вопросах автоматизации управления материальными потоками / А.Н. Пылькин, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Информатика и системы управления. – 2012. – № 2(32). – С. 138–149.

16. Максимов В.И. Анализ и управление в нестабильной среде / В.И. Максимов, С.В. Качаев, Е.К. Корноушенко // Банковские технологии. – 1999. – № 3. – С. 47–52.

17. Chen Z. Impacts of risk attitude and outside option on compensation contracts under different information structures / Z. Chen, Y. Lan, R. Zhao // Fuzzy Optimization and Decision Making. – 2018. – Vol. 17, Iss. 1. – P. 13-47.

18. Linguistic fuzzy consensus model for collaborative development of fuzzy cognitive maps: a case study in software development risks / C. De Maio, G. Fenza, V. Loia, F. Orciuoli // Fuzzy Optimization and Decision Making. – 2017. – Vol. 16, Iss. 4. – P. 463–479.

19. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее роль в принятии приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 168 с.

20. Нечеткая логика: алгебраические основы и приложения / С.Л. Блюмин, И.А. Шуйкова, П.В. Сараев, И.В. Черпаков. – Липецк: ЛЭГИ, 2002. – 113 с.

21. Бараксанов Д.Н. Математическое и программное обеспечение поддержки принятия решений при продвижении программного продукта на корпоративный рынок: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2016. – 186 с.

22. Ехлаков Ю.П. Математическая модель и алгоритм выбора интернет-площадок и мест размещения коммуникационных сообщений при организации рекламных кампаний / Ю.П. Ехлаков, Д.Н. Бараксанов // Бизнес-информатика. – 2017. – № 1. – С. 55–60.

Ехлаков Юрий Поликарпович

Д-р техн. наук, профессор каф. автоматизации обработки информации (АОИ) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр., д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 41-41-31
Эл. почта: ure@tusur.ru

Пермякова Наталья Викторовна

аспирант каф. АОИ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 41-47-01
Эл. почта: pnv@muma.tusur.ru

Ehlaikov Yu.P., Permyakova N.V.

Fuzzy cognitive model of decision support at the stage of monitoring and risk management of software projects

The article proposes a cognitive model to determine alternative solutions for the choice of significant risk-forming factors. The problem is presented in terms of fuzzy systems using the mathematical apparatus of fuzzy relational algebra. An algorithm for obtaining a set of alternative solutions to the problem is described, the results of an experimental study of the algorithm are given using the example of choosing critical factors when implementing a program to promote an electronic time-table service to the market. The solution obtained as a result of applying the algorithm reduced the number of risk-forming factors under consideration, which in turn will reduce the budget burden on the implementation of the promotion program.

Keywords: cognitive modeling, cognitive map, risk management, software projects.

doi: 10.21293/1818-0442-2019-22-2-96-103

References

1. *Rukovodstvo k Svodu znaniy po upravleniyu proektami (Rukovodstvo PMBOK)* [Guide to the Project Management Body of Knowledge (Guide PMBOK)]. 4-e izd. M., Project Management Institute, 2013. 586 p.
2. BS 6079-1:2010 Project management. Part 3: Guide to the management of business related project risk. London, BSI, 2003. 27 p.
3. Yaroshenko F.A., Bushuev S.D., Tanaka H. *P2M. Upravlenie innovatsionnymi proektami i programmami* [P2M. Management of innovative projects and programs]. Saint-Petersburg, Prof-lit, 2015. 320 p.
4. APM. Body of knowledge, 6-th edition. Available at: <https://www.apm.org.uk/body-of-knowledge> (Accessed: June 9, 2019).
5. DIN 69901-1 Projektmanagement. Projektmanagementsysteme. Teil1: Grundlagen. Berlin, Normenausschuss Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ) im DIN. 2009. 30 p.
6. Hinde D. PRINCE 2. Study Guide. New Jersey, John Wiley and Sons, Ltd, 2012. 528 p.
7. GOST R 54869–2011 *Trebovaniya k upravleniyu proektom* [Project management requirements]. Moscow, Standartinform, 2011. 14 p.
8. GOST R ISO 21500–2014 *Rukovodstvo po proektnomu menedzhmentu* [Project Management Guide]. M., Standartinform, 2014. 50 p.
9. GOST R ISO 10006–2005 *Rukovodstvo po menedzhmentu kachestva pri proektirovani* [Quality Management Guide for Project Management]. M., Standartinform, 2005. 28 p.
10. ISO 1006:2017 Quality Management Systems: Guidelines for Quality Management in Projects. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10006:ed-3:v1:en>, (Accessed: June 1, 2019).
11. GOST R ISO 31000–2010 *Menedzhment riska. Principy i rukovodstvo* [Risk management. Principles and guidelines]. M., Standartinform, 2010. 20 p.
12. ISO 31000:2009 Risk management – Principles and guidelines. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/43170.html> (Accessed: June 9, 2019).
13. Silov V.B. *Prinyatie strategicheskikh reshenij v nechetkoj obstanovke* [Making strategic decisions in a fuzzy setting]. Moscow, INPRO-RES, 1995, 228 p.
14. Maksimov V.I., Kornoushenko V.I., Kachaev S.V. Cognitive technologies for making management decisions. Available at: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/bpa/092aa276c601a997c32568c0003ab839> (Accessed: May 20, 2019).
15. Pyl'kin A.N., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V. Methodology of cognitive analysis in the automation of materials management. *Computer science and control systems*, 2012, no. 2 (32), pp. 138–149 (in Russ).
16. Maksimov V.I., Kachaev S.V., Kornoushenko E.K. Analysis and control in an unstable environment. *Banking technology*, 1999, no. 3. pp. 47–52 (in Russ).
17. Chen Z., Lan Y., Zhao R. Impacts of risk attitude and outside option on compensation contracts under different information structures. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2018, vol. 17, iss. 1, pp. 13–47.
18. De Maio C., Fenza G., Loia V., Orciuoli F. Linguistic fuzzy consensus model for collaborative development of fuzzy cognitive maps: a case study in software development risks. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2017, vol. 16, Iss. 4. pp. 463–479.
19. Zade L. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ee rol' v prinyatii priblizhennykh reshenij* [The concept of a linguistic variable and its role in making approximate decisions]. Moscow, Mir, 1976, 168 p.
20. Blyumin S.L., Shujkova I.A., Saraev P.V., Cherpakov I.V. *Nechetkaya logika: algebraicheskie osnovy i prilozheniya*. Monografiya [Fuzzy logic: algebraic foundations and applications. Monograph.]. Lipeck, LEGI, 2002. 113 p.
21. Baraksanov D.N. *Matematicheskoe i programmnoe obespechenie podderzhki prinyatiya reshenij pri prodvi-zhenii programmogo produkta na korporativnyy rynek*: dis. ... kand. tekhn. nauk. [Mathematical and software solutions solutions in the promotion of a software product on the corporate market. Cand. Diss.]. Tomsk, 2016. 186 p.
22. Ehlaikov Yu.P., Baraksanov D.N. Mathematical model and algorithm for selecting Internet sites and locations for communication messages when organizing an advertising campaign. *Business Informatics*, 2017, no. 1, ph. 55–60 (in Russ.).

Yury P. Yehlaikov

Doctor of Engineering, Assistant Professor,
Department Automation of Information Processing (AOI)
Tomsk State University of Control Systems
and Radio Electronics (TUSUR)
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 41-41-31
Email: upe@tusur.ru

Natalia V. Permyakova

PhD student,
Department of AOI TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 41-47-01
Email: pnv@muma.tusur.ru