

УДК 004.8:[334:330.131.7]

ББК 32.973.2-018:65.291.216-09В635

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО КОГНИТИВНОГО ПОДХОДА

Ажмухамедов И.М.¹, Выборнова О.Н.²

*(Астраханский государственный технический
университет, Астрахань)*

Предложена методика определения уровня приемлемого риска, позволяющая в условиях субъективной неопределенности построить кривую приемлемого риска. Разработана нечеткая когнитивная модель (НКМ), обобщающая сведения об имеющихся бизнес-процессах организации; поддерживающих их активах; возможных угрозах этим активам и мерах их нейтрализации; а также о негативных событиях, которые могут вызвать данные угрозы. На основе НКМ сформирован алгоритм оценки текущего уровня риска. Поставлены и решены задачи по снижению рисков до приемлемых значений при ограниченном и неограниченном уровне выделенных для этого ресурсов.

Ключевые слова: управление рисками, кривая приемлемого риска, нечеткая когнитивная модель оценки рисков.

1. Введение

Риски окружают человека повсюду. Любая управленческая деятельность в той или иной мере имеет рисковый характер.

В общем случае под риском понимают совокупность вероятности возникновения некоторого негативного события и ущерба от него. В различных предметных областях имеются

¹ Искандар Маратович Ажмухамедов, профессор, доктор технических наук (aim_agtu@mail.ru).

² Ольга Николаевна Выборнова, аспирант (olga.vyb.90@gmail.com).

свои нюансы в трактовке этого термина, но общий смысл при этом остается неизменным.

Задача оценки и управления уровнем рисков имеет ряд специфических особенностей, связанных с ее слабой структурированностью и наличием как объективной, так и субъективной неопределенностей [4]. И если для формализации объективной неопределенности могут быть использованы методы классической теории вероятностей и математической статистики (ТВиМС), то для субъективной неопределенности, источником которой является наличие в системе антропогенной составляющей, методы ТВиМС не пригодны. Поэтому, несмотря на то, что исследованию задач риск-менеджмента посвящено достаточно большое число работ [например, 8, 24, 29, 32], методика оценки рисков, учитывающая наличие субъективной неопределенности, на сегодняшний день отсутствует. Это, в свою очередь не позволяет организовать эффективное управление уровнем рисков.

Исходя из этого, **целью** данной работы стало создание методики управления рисками в условиях существенной субъективной неопределенности.

2. Нечеткая когнитивная модель оценки рисков

Для описания неопределенностей, носящих субъективный характер, целесообразно использование методологии нечеткого когнитивного моделирования (НКМ), которая активно развивается учеными ИПУ РАН. Неоспоримыми достоинствами НКМ являются «возможность формализации численно неизмеримых факторов, использования неполной, нечеткой и даже противоречивой информации» [20].

Методология НКМ предусматривает построение нечеткого когнитивного графа, отражающего взаимосвязь основных факторов предметной области и их взаимное влияние; оценку состояния факторов и степени их влияния на другие концепты иерархии; вычисление значений вышестоящих концептов иерархии по известным значениям влияющих на них факторов. Рассмотрим каждый из этих этапов.

2.1. ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКОГО КОГНИТИВНОГО ГРАФА

На основе принципов и подходов, развитых в [3, 10], НКМ оценки рисков предлагается представить в виде 8-ми уровневого графа G .

На нижнем, 7-ом уровне располагаются концепты, отражающие вероятность возникновения негативных событий (НС), которые могут породить угрозы ресурсам (активам), задействованным в основных бизнес-процессах организации. Каждое НС в общем случае может с различной вероятностью порождать множество угроз, имеющих разную интенсивность, от которой, в свою очередь, зависит уровень возможного ущерба активам организации.

Поэтому, на 6-ом уровне находятся концепты, отражающие возможные угрозы с интенсивностью I_i и вероятностью возникновения P_{I_i} , вызванные негативными событиями 7-го уровня.

На 5-ом уровне располагаются концепты Z_{I_i} и $Z_{P_{I_i}}$, отражающие эффективность мер защиты, применяемых для снижения I_i и P_{I_i} .

На 4-м уровне находятся концепты, соответствующие вероятности реализации и степени разрушительности атак (реализованных, несмотря на применение мер защиты, угроз) на активы, обеспечивающие основные подпроцессы организации.

Вероятное ухудшение состояния активов организации отражается концептами 3-го уровня иерархии.

Концепты 2-го уровня отражают риски для подпроцессов (ПП) основных бизнес-процессов организации и представляют собой декомпозицию концептов 1-го уровня. Декомпозиция производится до тех пор, пока не станет возможным выделить все существенные активы, которые могут быть подвергнуты атакам.

На предпоследнем, первом, уровне находятся концепты, отражающие вероятное снижение качества выполнения основных бизнес-процессов (ОБП) и вызванные в связи с этим потери (риски ОБП).

На нулевом уровне расположены оценки рисков организации в целом и соответствующая им суммарная (интегральная) оценка риска.

Для нахождения полного множества бизнес-процессов и множества ресурсов (активов), необходимых для поддержания данных бизнес-процессов, целесообразно использовать построение функциональной модели работы организации в нотации IDEF0 [27].

Значения некоторых концептов, входящих в иерархию G , могут быть определены численно, например, после обработки собранных статистических данных. Однако в большинстве случаев численное определение значений факторов затруднено и приходится прибегать к методам экспертных оценок. Оценки экспертов при этом обычно носят вербальный характер. Поэтому для формализации полученной от эксперта информации предлагается ввести лингвистическую переменную L с термножеством значений:

(1) $QL = \{\text{Низкий (H)}; \text{Ниже среднего (HC)}; \text{Средний (C)}; \text{Выше среднего (BC)}; \text{Высокий (B)}\}$.

Для перехода к количественному описанию данному термножеству целесообразно поставить в соответствие пятиуровневый классификатор, в котором функции принадлежности (ФП) нечетких чисел (НЧ), заданных на отрезке $[0; 1]$, представляют собой трапеции:

(2) $\{\langle\langle H \rangle\rangle (0; 0; 0,15; 0,25); \langle\langle HC \rangle\rangle (0,15; 0,25; 0,35; 0,45);$
 $\langle\langle C \rangle\rangle (0,35; 0,45; 0,55; 0,65); \langle\langle BC \rangle\rangle (0,55; 0,65; 0,75; 0,85);$
 $\langle\langle B \rangle\rangle (0,75; 0,85; 1; 1)\}$,

где в нечетких числах $XX(a_1, a_2, a_3, a_4)$: a_1 и a_4 – абсциссы нижнего основания трапеции; a_2 и a_3 – абсциссы верхнего основания.

Построенный классификатор представляет собой разновидность «серой» шкалы Пospелова [23], в которой переход от свойства A^+ к свойству A^- в отличие от используемого в пакетах когнитивного моделирования интервального шкалирования, [1, 12, 19], происходит постепенно, плавно. Поэтому в условиях неопределенности «серые» шкалы более адекватно отражают экспертные оценки [28].

Применение классификатора позволяет от качественного (вербального) описания параметра перейти к количественному описанию в виде соответствующей ФП нечетких трапецевидных чисел.

Если кроме факторов, оцененных качественно («нечетко»), в НКМ присутствуют концепты, значения которых определены количественно («четко»), то для *совместного использования количественной и качественной информации* целесообразно воспользоваться предложенной в [2] методикой, предусматривающей вычисление нормированного значения \bar{F}_i количественно измеряемого фактора F_i по формуле

$$(3) \quad \bar{F}_i = (F_i - F_{\min}) / (F_{\max} - F_{\min}),$$

где F_{\max} и F_{\min} – максимальное и минимальное значения F_i соответственно.

Разнородные параметры нормирование приводит к единому интервалу $[0; 1]$. Далее оценка фактора представляется нечетким числом $X(a_1, a_2, a_3, a_4)$, ($a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = \bar{P}_i$). Если \bar{P}_i содержит погрешность δ , то $a_1 = a_2 - \delta$; $a_2 = a_3 = \bar{P}_i$; $a_4 = a_3 + \delta$. Таким образом, нормированное четкое значение фактора, представляется как частный случай НЧ на $[0; 1]$.

Для учета взаимного влияния концептов в иерархии G необходимо ввести в рассмотрение множество весов S ребер данного графа.

2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ

Значения весов из множества S : $s_{ij} \in [-1; 1]$ могут быть получены путем опроса экспертов. Например, в системах «Ситуация» и «Компас» эксперт упорядочивает множество лингвистических оценок отражающих силы влияния. Далее каждый элемент множества оценок отображается на отрезок $[-1; 1]$ в виде равноотстоящих точек [16, 19].

В системе «Канва» для определения силы влияния применяются косвенные методы: эксперт оценивает возможное изменение значений фактора-следствия при заданном изменении

значения фактора причины. Это, по мнению авторов, должно способствовать уменьшению ошибки экспертного оценивания [15].

Данные подходы предусматривают передачу на верхний уровень НКМ максимального значения с нижнего уровня и основаны на предположении о независимом воздействии причин на факторы-следствия.

Если же значение приращения фактора-следствия обусловлено совместным влиянием нескольких факторов, то вклад каждого фактора-причины целесообразно определить по-иному. Такие модели были предложены в работе Робертса [25], затем анализировались в работах [14, 18].

При этом «необходимо учесть, что «мягкие» качественные измерения типа сравнения, отнесения к классу, упорядочения гораздо более надежны, чем назначение субъективных вероятностей, количественных оценок важности критериев, «весов» полезностей и т.п.» [7, 17]. Кроме того, в большинстве случаев эксперты затрудняются дать четкие численные оценки. Вследствие этого предпочтительнее использовать ранговые методы, при их реализации требуется лишь упорядочить факторы.

В работе [2] для оценки *интенсивности нечетких связей между факторами* предложена модификация метода нестрогого ранжирования. В соответствии с ним эксперт нумерует все критерии по возрастанию их значимости. Причем допускается случай, когда эксперту не удастся различить некоторые критерии между собой. В этом случае он помещает их при ранжировании на одну позицию в произвольном порядке. Затем позиции проранжированного списка последовательно нумеруются. Ранг фактора определяется его номером. Если на одной позиции находятся несколько факторов, неразличимых между собой, то в качестве ранга каждого принимается номер его группы в упорядочении. Найденные таким способом оценки – это обобщение понятия весов Фишберна на случай, когда наряду с предпочтениями имеются и отношения безразличия.

При использовании данного метода нужно определить отношения предпочтения на графе G :

$$(4) E = \{GF_i(e)GF_j \mid e \in (>, \approx)\},$$

где GF_i и GF_j – факторы, находящиеся на одном уровне иерархии G ; \approx – отношение безразличия; $>$ – отношение предпочтения.

Это позволяет определить *нормированные* веса Фишберна (веса связей) для дуг GD_{ij} графа G для случая совместного влияния нескольких факторов-причин на фактор-следствие.

2.3. ВЫЧИСЛЕНИЕ И ДЕФАЗЗИФИКАЦИЯ НЕЧЕТКИХ ЗНАЧЕНИЙ КОНЦЕПТОВ НКМ

Для вычисления значений концептов в НКМ необходимо лингвистически оценить величины параметров нижних уровней иерархии (используя значения из терм-множества QL), и задать множество весов влияния S . Далее воздействия нижестоящих в иерархии концептов агрегируются по правилам R_i , в качестве которых могут использоваться аддитивная, мультипликативная, минимаксная и др. свертки векторного критерия. При этом если возможна компенсация значений одних факторов другими целесообразно применение аддитивной свертки. В отличие от аддитивной, значение мультипликативной свертки резко уменьшается при уменьшении отдельных сомножителей. Это позволяет при принятии решения учесть такие варианты, когда каждый из факторов значим, и отсутствует их взаимная компенсация. В особо критичных случаях необходимо использовать экстремальные (минимальные или максимальные) значения (принцип «максимально слабого звена»). При этом для сравнения трапецидальных нечетких чисел целесообразно использовать центроидный метод, поскольку вычисление «средних» значений наиболее полно отражает специфику данного вида НЧ [9].

В случае оценки рисков от совокупного воздействия конечного числа независимых угроз целесообразно применение аддитивной свертки вида:

$$(5) \quad F = \sum_i \alpha_i F_i ,$$

где α_i – веса влияния факторов F_i на фактор F .

Значения некоторых концептов при нахождении сверток необходимо предварительно инвертировать для учета их отри-

цательного влияния. Для нахождения противоположного значения (инверсии) лингвистически описанного фактора F необходимо использовать формулу [3]:

$$(6) \text{Inv}(F) = (1 - \mu(F)),$$

где $\mu(F)$ – ФП нечеткого числа, соответствующего лингвистическому значению фактора F .

При нахождении сверток под произведением или суммой лингвистических значений понимается произведение или сумма соответствующих им НЧ. Для вычислений с НЧ целесообразно использовать специальное программное обеспечение [6].

Результат операций с НЧ также является НЧ, которое необходимо дефаззифицировать, чтобы выработать суждение о количественном уровне показателей. Для дефаззификации вычисленного нечеткого значения предлагается использовать метод «центра тяжести» [26, 31]. При выборе в качестве классификатора трапецеидальных НЧ типа (2) функция дефаззификации (Def) произвольного трапецеидального нечеткого числа A будет иметь вид:

$$(7) \text{Def}(A) = (a_2 + a_3) / 2$$

Найденное дефаззифицированное значение является *метрической характеристикой*, отражающей состояние концепта в НКМ.

Таким образом, в качестве НКМ оценки рисков предлагается использовать кортеж:

$$(8) \text{RSK} = \langle G, QL, S, R, Def \rangle,$$

в котором G – нечеткий когнитивный граф, отражающий взаимосвязь основных концептов, участвующих в оценке риска; QL – терм-множество лингвистических оценок значений параметров (1) с соответствующим нечетким классификатором (2); S – множество весов ребер графа G , для нахождения которых определяются отношения предпочтения на графе, что в свою очередь позволяет определить нормированные веса Фишберна (веса связей) для дуг GD_{ij} графа G методом нестрогого ранжирования; R – множество правил агрегирования влияния различных концептов нижнего уровня на концепт верхнего уровня; Def – функция (7) дефаззификации нечетких значений, полученных в результате вычислений по НКМ.

При необходимости включения в состав предложенной модели новых знаний, полученных в результате изучения процессов, влияющих на уровень риска в той или иной системе, целесообразно представить эти знания как нечеткую когнитивную модель более низкого уровня, построенную по изложенной выше схеме. Такой способ иерархического построения нечетких моделей позволяет унифицировать представление знаний и способствует их более эффективному хранению и обработке.

В общем случае значения концептов НКМ зависят от времени t . При оценке рисков в этом случае необходимо задать начальные значения факторов при $t = 0$. Далее для нахождения значений концепта K_j при дискретных значениях $t = 1, 2, 3, \dots$ используется формула:

$$(9) \quad K_j(t+1) = K_j(t) + H(\Delta K_i, RSK, t+1),$$

где ΔK_i – приращения воздействующих на K_j концептов K_i ; $H(\Delta K_i, RSK, t+1)$ – заданная кортежем RSK (8) обобщенная функция влияния ΔK_i на выходное значение K_j .

Аппарат, который применяется для нахождения значений, отражающих интенсивность угроз I_i и вероятность их возникновения P_{I_i} в начальный момент времени, зависит от того, каковы источники возникновения негативных событий.

В случае, если угрозы наступления НС связаны с объективными процессами, имеющими техногенный или природный характер, могут быть использованы методы ТВиМС. В результате их применения определяется вероятность возникновения угрозы P_{I_i} , а интенсивность каждой угрозы I_i после нормирования оценивается соответствующей функцией принадлежности на $[0; 1]$. При этом 1 соответствует такая интенсивность угрозы, которая приводит к полному разрушению концепта, на который направлена данная угроза.

В случае же, если угроза связана с субъективным фактором, нужно построить отдельную НКМ более низкого уровня – «модель субъекта». При этом необходимо учесть: уровень мотивированности действий субъекта, зависящий от степени его лояльности, преследуемых им целей и т.д.; уровень психологических и физических возможностей субъекта; его компетент-

ность (уровень знаний и навыков) и техническую оснащенность (используемые им средства и методы); уровень его прав по отношению к активам системы и т.п.

Если оценка вероятностей производится экспертным путем и выражается в вербальной форме, то для перевода данной оценки в численный формат необходимо воспользоваться шкалой Харрингтона [30]:

(10) «Вероятность низкая» – 0,1; «Вероятность ниже средней» – 0,29; «Вероятность средняя» – 0,51; «Вероятность выше средней» – 0,72; «Вероятность высокая» – 0,95.

Вероятность атак (угроз, реализованных, несмотря на применение ЗМ), и степень их разрушительности (причиненного активам ущерба), определяются по формулам:

$$(11) U_{Att_i} = I_i \cdot Inv(Z_{I_i}),$$

$$(12) P_{Att_i} = P_{I_i} \cdot Inv(Z_{P_{I_i}}),$$

где U_{Att_i} – уровень остаточного (после ЗМ) ущерба от реализации i -й атаки; I_i – интенсивность i -й угрозы (до ЗМ); Z_{I_i} – эффективность ЗМ по снижению интенсивности i -й угрозы, $Inv(Z_{I_i})$ вычисляется по формуле (6); P_{Att_i} – остаточная (после ЗМ) вероятность возникновения i -й атаки; P_{I_i} – вероятность возникновения i -й угрозы (до ЗМ); $Z_{P_{I_i}}$ – эффективность ЗМ по снижению вероятности реализации i -й угрозы, $Inv(Z_{P_{I_i}})$ вычисляется по (6).

Как было отмечено выше, одно НС может генерировать целую гамму угроз с различной интенсивностью и вероятностью их возникновения. Это может привести к ситуации, когда одному и тому же значению возможного ущерба соответствуют разные вероятности. В этом случае для такого ущерба необходимо выбрать максимальное значение вероятности его возникновения.

Вычисленные по формулам (11) и (12) значения U_{Att_i} и P_{Att_i} отражают риски для активов (третий уровень НКМ) и

позволяют последовательно найти значения рисков для подпроцессов (второй уровень), ОБП (первый уровень иерархии) и организации в целом (нулевой уровень НКМ).

Значения ущерба на уровнях $\{0; 1; 2\}$ иерархии G определяются по формуле:

$$(13) U_i^{k,j} = \alpha_i^{k,j} U_i^{k+1,j},$$

где $U_i^{k,j}$ – i -й ущерб j -му концепту k -го уровня НКМ; $\alpha_i^{k,j}$ – весовой коэффициент, отражающий влияние i -го ущерба концепта $(k+1)$ -го уровня на j -й концепт k -го уровня НКМ; $U_i^{k+1,j}$ – ущерб, нанесенный i -му концепту $(k+1)$ -го уровня НКМ, влияющему на j -й концепт k -го уровня; $k \in \{0; 1; 2\}$.

При $k = 2$ значения $U_i^{2,j}$ отражают степени повреждения ПП, $\alpha_i^{2,j}$ – вес i -го актива в обеспечении деятельности j -го ПП. Этот коэффициент выражается вербально и оценивается по шкале Харрингтона; $U_i^{3,j}$ – величина ущерба активу после прохождения угроз через ЗМ (U_{Att_i}).

При $k = 1$ значения $U_i^{1,j}$ соответствуют уровням снижения качества ОБП, $\alpha_i^{1,j}$ – вес i -го ПП в реализации j -го ОБП.

При $k = 0$ значения $U_i^{0,0}$ отражают i -й ущерб организации в целом, $\alpha_i^{0,0}$ – доля i -го ОБП в деятельности организации.

При этом значения вероятностей причинения ущерба не изменяются и остаются равными вероятностям возникновения атак P_{Att_i} , рассчитанным на 4-м уровне НКМ.

В результате получается множество точек $\hat{R}^{mek} = \{(U_i; P_i)\}$, характеризующих текущие показатели риска для организации в целом, где $i = 1 \dots N$; N – количество значений возможного ущерба. Суммарное значение текущего риска находится по формуле:

$$(14) R^{mek} = \left[\sum_{i=1}^N (\Delta U_i \cdot P_i) \right] / (U^{kp} - U^{nb}),$$

где $\Delta U_i = U_i - U_{i-1}$; точки $\hat{R}^{тек}$ отсортированы по возрастанию величины ущерба; $U_0 = U^{нз}$, где $U^{нз}$ – незначимый для ЛПР ущерб (т.е. такое значение, ниже которого ущерб не принимается во внимание); $U^{кп}$ – критический (максимально приемлемый для ЛПР) ущерб, вероятность возникновения которого должна быть минимальной, в идеале стремящейся к нулю.

Таким образом, можно сформулировать следующий алгоритм оценки текущего уровня риска:

1. Определяется множество потенциально возможных НС и оцениваются вероятности их возникновения.

2. Определяется множество угроз, которые потенциально могут быть порождены выявленными НС. Оцениваются интенсивности этих угроз I_i и вероятности их возникновения P_{I_i} .

3. Выявляется множество применяемых в организации защитных мер и оценивается эффективность их воздействия на интенсивность Z_{I_i} и вероятность $Z_{P_{I_i}}$ возникновения угрозы.

4. Вычисляются остаточные (после ЗМ) степени разрушительности и вероятности атак на активы: по формулам (11) и (12) соответственно.

5. Для каждого ПП на основе значений, полученных на шаге 4, по формуле (13) вычисляются степени повреждения атакми. Вероятности остаются без изменений.

6. Аналогично (по (13)) определяются уровни снижения качества основных бизнес-процессов. Вероятности остаются без изменений.

7. Вычисляются риски организации в целом: по (13) – и суммарное значение риска: по (14).

С целью принятия управленческих решений необходимо сравнить полученное значение текущего риска с уровнем приемлемого риска.

3. Определение значения приемлемого риска

Под приемлемым понимается такой риск, с которым ЛПР в имеющейся ситуации может смириться [24]. В [4-5] для определения уровня приемлемого риска было предложено ввести в

рассмотрение функциональную зависимость вероятности возникновения некоторого ущерба от его величины:

$$(15) P^* = P^*(U),$$

где $P^*(U)$ – монотонно убывающая функция, отражающая приемлемую вероятность возникновения ущерба U : $U^* \in [U^{H3}; U^{KP}]$.

Вид функции $P^*(U)$ может быть различным. Например, вероятности возможных потерь при авариях часто описываются распределением Гаусса [8, 32]. В некоторых случаях целесообразно применение функции вида $P^* = a / (1 + \exp(b \cdot (U - U^{H3})))$, описывающей S-образную кривую.

В [4] в качестве P^* предложено использовать функцию:

$$(16) P^* = a \cdot (1 + \exp(-b \cdot (U - U^{H3}))),$$

где a и b – некоторые константы: a – соответствует вероятности, с которой ЛПР допускает возникновение незначимого ущерба U^{H3} ; b – определяет скорость падения допустимой вероятности принятия ущерба по мере приближения к U^{KP} .

Кривая приемлемого риска (КПР) может быть построена по следующей схеме:

1) Эксперты классифицируют величины ущербов (U_i), которые потенциально могут быть нанесены активам организации в результате реализации НС. При этом для описания категорий ущерба они обычно используют вербальную форму. Для сопоставления числовых оценок различным классам ущерба целесообразно воспользоваться шкалой Харрингтона [30]: «Ущерб незначительный» – $0,1 \cdot U^{KP}$; «Ущерб малозначимый» – $0,29 \cdot U^{KP}$; «Ущерб среднезначимый» – $0,51 \cdot U^{KP}$; «Ущерб значимый» – $0,72 \cdot U^{KP}$; «Ущерб критический» – $1 \cdot U^{KP}$.

2) ЛПР оценивает вероятности возникновения (P_i^*) различных категорий ущерба (U_i): $\hat{R}^* = \{(U_i; P_i^*)\}_{i=1..N}$ с точки зрения их приемлемости.

3) Заданные в опорных точках U_i значения P_i^* аппроксимируются непрерывной функцией, например, вида (16) (рис. 1).

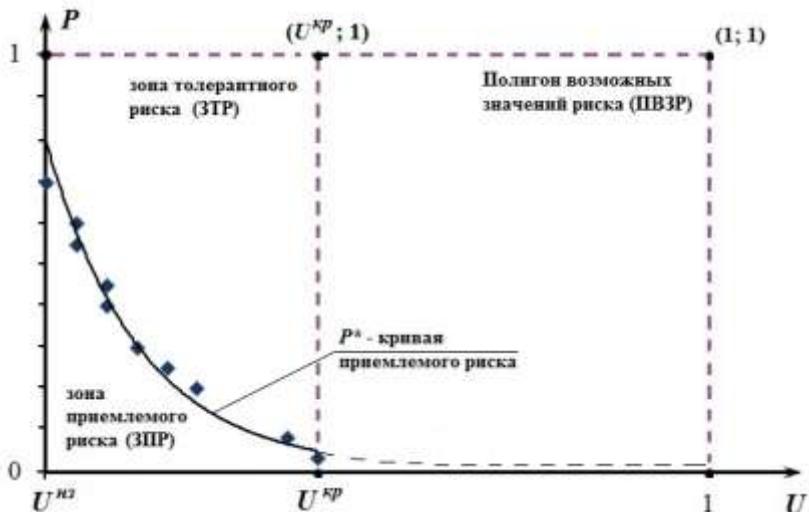


Рис. 1. График функции приемлемого риска

Кроме приемлемого, в риск-менеджменте также используется понятие толерантного риска – предельного уровня риска, который организация может выдержать без значительного ущерба для своей финансовой и конкурентной позиции [29]. Обычно уровень толерантного риска определяется как доля от собственного капитала компании и закрепляется внутренней политикой управления рисками [21-22]. На рисунке 1 данному понятию соответствует зона толерантного риска (ЗТР), которая находится в границах прямоугольника с вершинами $(U^{тз}; 0)$, $(0; 1)$, $(U^{кп}; 1)$, $(U^{кп}; 0)$. Прямоугольник с вершинами $(U^{тз}; 0)$, $(0; 1)$, $(1; 1)$, $(1; 0)$ назовем полигоном возможных значений риска (ПВЗР). Область, ограниченная осями координат и КПР, образует зону приемлемого риска (ЗПР).

В случае непрерывной функции P^* величина приемлемого риска находится по формуле:

$$(17) R^{пр} = \left[\int_{U^{тз}}^{U^{кп}} P^*(U) dU \right] / (U^{кп} - U^{тз}),$$

где $(U^{кп} - U^{тз})$ – площадь зоны толерантного риска.

Если же функция P^* задана дискретно, то:

$$(18) R^{np} = \left[\sum_i (P^*(U_i) \cdot \Delta U_i) \right] / (U^{kp} - U^{ms}).$$

Деление на площадь ЗТР позволяет оценить степень близости риска к критическому значению. При этом если хотя бы одна из точек, описывающих текущее состояние риска, находится выше кривой приемлемого риска, необходимо принять меры по снижению рисков до приемлемых значений.

4. Стратегии управления рисками

При управлении рисками ЛПР может сохранить риск (принять текущий уровень риска – возможно с полным или частичным возложением ответственности за последствия реализации НС на третье лицо) или применить меры, нацеленные на снижение риска до заданных приемлемых значений [11].

В свою очередь реализация стратегии снижения риска возможна различными тактическими путями:

- уклонение от угрозы или ликвидация источника угрозы;
- снижение уровня уязвимостей за счет применения мер и средств защиты информации;
- снижение негативных последствий от реализации угроз.

Стратегии снижения рисков на рисунке 2 соответствует перемещение точки, описывающей величину текущего риска, в зону приемлемого риска (ЗПР), которая находится под кривой приемлемого риска [5].

Первые два варианта действий направлены на снижение вероятности возникновения НС, т.е. соответствуют смещению точки $A_0 (U_0; P_0)$ вниз по оси ординат (траектория 1 на рис. 2). Третий вариант связан со снижением уровня последствий от неблагоприятного воздействия: перемещение точки A_0 влево по оси абсцисс (траектория 2 на рис. 2). Перечисленные стратегии могут также комбинироваться с целью одновременного снижения ущерба и вероятности возникновения НС (траектория 3 на рис. 2).

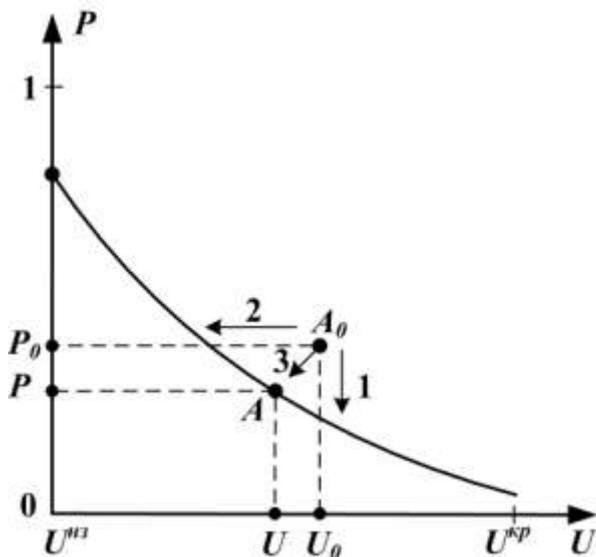


Рис. 2. Выбор тактики снижения риска

При этом возможно возникновение следующих задач выбора оптимальной тактики снижения риска:

Задача 1: снижение риска при неограниченных ресурсах.

Задача 2: снижение риска при ограниченных ресурсах.

Для формализации и решения сформулированных задач введем следующие обозначения (рис. 3): A_i – точки, описывающие «текущий риск»; A'_i ($i = 1..n$) – точки на кривой приемлемого риска, перемещение к которым от A_i будет оптимальным в плане затрат; ρ'_i – расстояние от точки A_i до точки A'_i ; A''_i – точки, соответствующие состоянию, которое достигается при недостаточном объеме ресурсов, выделенных на снижение рисков; ρ''_i – расстояние от точки A_i до точки A''_i .

Для i -й точки обозначим: S_{U_i} – «стоимость» снижения ущерба (движения по оси абсцисс); S_P – «стоимость» снижения вероятности (движения по оси ординат). При этом под «стоимостью» в общем случае понимается совокупность человеческих,

материальных, временных и иных ресурсов, необходимых при реализации мер по снижению риска.

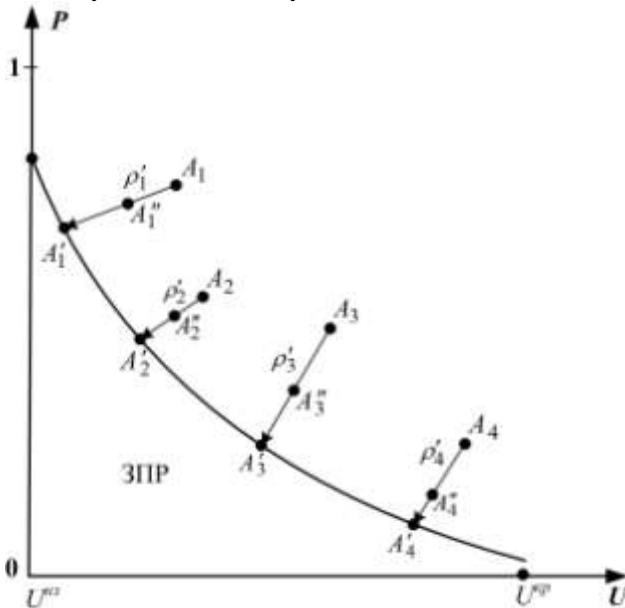


Рис. 3. Снижение риска при ограниченных и неограниченных ресурсах

Для нахождения числовой характеристики «стоимости» необходимо привести значения, соответствующие объему различных ресурсов, к безразмерной шкале от 0 до 1, а затем найти аддитивную свертку вида:

$$(19) S = \alpha_1 S^{(чел)} + \alpha_1 S^{(мат)} + \alpha_1 S^{(врем)} + \dots,$$

где α_i – «весовые» коэффициенты, определяющие «значимость» для ЛПР человеческих ($S^{(чел)}$), материальных ($S^{(мат)}$), временных ($S^{(врем)}$) и других дополнительных ресурсов при осуществлении мер по снижению риска.

При использовании вербальных оценок переход к числовым значениям в диапазоне от 0 до 1 осуществляется согласно шкале Харрингтона.

Расстояние от точки $A_i (U_i; P_i)$, характеризующей текущий уровень риска, до точки $A'_i (U'_i; P'_i)$ на кривой приемлемого риска (рис. 3) определяется формулой:

$$(20) \rho_i = \sqrt{(U_i - U'_i)^2 + (P_i - P^*(U'_i))^2}.$$

Чтобы найти оптимальную траекторию перемещения точки A_i в ЗПР, необходимо найти минимум функции

$$(21) S_{\rho_i} = \sqrt{(S_{U_i} \Delta U_i)^2 + (S_{P_i} \Delta P_i)^2} \rightarrow \min,$$

где $\Delta U_i = U_i - U'_i$; $\Delta P_i = P_i - P^*(U'_i)$.

С учетом формулы (16) получаем:

$$(22) S_{U_i}^2 (U_i - U'_i)^2 + S_{P_i}^2 (P_i - a \cdot \exp(-bU'_i))^2 \rightarrow \min.$$

После нахождения производной и приравнивания ее к нулю, задача поиска оптимальной траектории снижения риска сводится к решению уравнения:

$$(23) S_{U_i}^2 (U_i - U'_i) - S_{P_i}^2 \cdot a \cdot b \cdot \exp(-bU'_i) (P_i - a \cdot \exp(-bU'_i)) = 0.$$

Решение данного уравнения U'_i может быть найдено любым из известных численных методов (например, методом хорд) [13].

Для вычисления значения P'_i найденное значение U'_i необходимо подставить в формулу (16). Отрезок, соединяющий точки $(U_i; P_i)$ и $(U'_i; P'_i)$, и будет искомой оптимальной траекторией снижения риска.

Для нахождения оптимальной траектории перемещения всей совокупности точек A_i необходимо минимизировать суммарную стоимость их перемещения в ЗПР:

$$(24) S_{\rho} = \sum_{i=1}^n S_{\rho_i} \rightarrow \min.$$

При решении задачи 1 (при неограниченных ресурсах) нахождение минимума для S_{ρ} сводится к нахождению минимума для каждого S_{ρ_i} согласно вышеизложенной схеме, предусматривающей нахождение решения уравнения (23).

В случае с ограниченными ресурсами (задача 2) перемещение в ЗПР должно осуществляться по найденной при решении задачи 1 траектории (поскольку она является оптимальной).

Однако при этом точка A'_i в общем случае не достигается, поскольку выделенных на снижение риска средств ($S_i^{бюд}$) недостаточно для достижения ЗПР (их меньше необходимой величины S'_i). Перемещение заканчивается в точке A''_i . Исходя из этого, в случае ограниченных ресурсов задача поиска оптимальной тактики снижения рисков сводится к решению задачи линейного программирования:

$$(25) \begin{cases} \sum_{i=1}^n \rho'_i (1 - \delta_i) \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n \delta_i S'_i = S^{бюд} \end{cases},$$

где $\delta_i = S_i^{бюд} / S'_i$ – нормированное значение объема ресурсов, выделенных для снижения риска в i -ой точке ($\delta_i \in [0; 1]$); $S'_i = \rho'_i \cdot (S_{P_i} \cdot \cos \alpha_i + S_{U_i} \cdot \sin \alpha_i)$ – объем ресурсов, необходимый для достижения точкой A_i КПП; ρ'_i – длина оптимальной траектории перемещения в ЗПР, полученная при решении задачи 1; $\alpha_i = \arctg(\Delta U_i / \Delta P_i)$; ΔU_i и ΔP_i определяются из решения задачи 1; $S^{бюд}$ – объем выделенных ресурсов ($S^{бюд} \leq S'_i$).

Таким образом, общий алгоритм управления рисками в условиях неопределенности, можно представить в следующем виде:

1. Выделить основные бизнес-процессы, влияющие на эффективность работы организации (например, с помощью методологии функционального моделирования IDEF0).
2. Выполнить декомпозицию основных бизнес-процессов: выделить подпроцессы.
3. Определить, какие ресурсы (активы) необходимы для поддержания нормального режима функционирования выделенных бизнес-процессов.
4. Сформировать множество угроз, которым могут быть подвержены данные ресурсы. Определить вероятность возник-

новения негативных событий, которые могут привести к возникновению данных угроз, и оценить степень тяжести последствий от их реализации (интенсивность угроз).

5. Составить перечень предпринятых мер по нейтрализации потенциальных угроз ресурсам организации. Проанализировать их эффективность.

6. Составить НКМ оценки рисков в виде кортежа (8).

7. С помощью полученной НКМ рассчитать вероятности возникновения различного уровня ущерба, который может быть нанесен организации в связи с ухудшением качества выполнения основных бизнес-процессов при выявленном в п.4 множестве угроз с учетом полученной в п.5 оценки эффективности мер защиты от них.

8. Вычислить величину приемлемого риска согласно приведенной в статье методике.

9. Если точки, описывающие текущий риск, расположены выше КПП, то необходимо выделить дополнительные ресурсы для снижения текущего уровня риска, либо принять решение о повышении уровня приемлемого риска.

10. Если принято решение о снижении рисков, то для каждой точки из множества $\hat{R}^{тек}$, характеризующей текущий уровень риска, с использованием аддитивной свертки вида (19) определить уровень затрат на снижение значений вероятности возникновения угрозы и ущерба от ее возникновения (S_{p_i} и S_{U_i} соответственно).

11. Решить задачу 1 (при отсутствии ограничений на ресурсы): для каждой точки из множества $\hat{R}^{тек}$, характеризующей текущий уровень риска, найти оптимальную траекторию перемещения в зону приемлемого риска. Рассчитать суммарную «стоимость» затрат S_{ρ} на снижение риска (сумму по всем точкам) при перемещении по оптимальным траекториям.

12. Полученное значение сравнить с величиной средств $S_{бюд}$, которые организация готова выделить на снижение рисков: $\Delta S = S_{бюд} - S_{\rho}$.

13. Если расчетная стоимость мер по снижению рисков не выше выделяемой величины ($\Delta S \geq 0$), то мы имеем дело с зада-

чей при неограниченных ресурсах, решение которой было найдено на шаге 11.

14. В противном случае решается *задача 2* (при ограниченных ресурсах). По результатам вычислений ЛПР должно принять решение либо об увеличении величины приемлемого риска (до найденных значений A_i''), либо о выделении дополнительных ресурсов на осуществление мер по снижению уровня риска в размере ΔS .

5. Заключение

Таким образом, изложенная в работе совокупность методик и алгоритмов позволяет управлять рисками в условиях существенной субъективной неопределённости.

Предложенная методика определения уровня приемлемого риска отличается тем, что для формализации нечетких вербальных оценок экспертов относительно вероятности возникновения негативных событий и степени опасности угроз, вызванных этими событиями, используется инструментарий теории нечетких множеств. Методика позволяет в условиях субъективной неопределенности построить кривую приемлемого риска.

Разработанная НКМ позволяет обобщить сведения об имеющихся бизнес-процессах организации; поддерживающих их активах; возможных угрозах этим активам и мерах их нейтрализации; а также о НС, которые могут вызвать угрозы активам. Предложенная модель и сформированный на ее основе алгоритм позволяют на координатной плоскости «ущерб-вероятность» определить множество точек, характеризующее текущий уровень рисков.

Приведенные в работе постановка и решение задач по снижению рисков при ограниченном и неограниченном уровне выделенных для этого ресурсов, позволяют выбрать оптимальные тактики управления рисками с целью приведения их к приемлемому для ЛПР уровню.

Полученные результаты позволяют перейти к разработке СППР по управлению рисками в различных областях.

Литература

1. АВДЕЕВА З.К., МАКСИМОВ В.И., РАБИНОВИЧ В.М. *Интегрированная система «КУРС» для когнитивного управления развитием ситуаций* // Труды ИПУ РАН. – Т. XIV. – М.: ИПУ РАН, 2001. – С. 89–114.
2. АЖМУХАМЕДОВ И.М. *Анализ и управление комплексной безопасностью на основе когнитивного моделирования* // Управление большими системами. – 2010. – № 29. – С. 5-15.
3. АЖМУХАМЕДОВ И.М. *Синтез управляющих решений в слабо структурированных плохо формализуемых социотехнических системах* // Управление большими системами. – 2013. – № 42. – С. 29-54.
4. АЖМУХАМЕДОВ И.М., ВЫБОРНОВА О.Н. *Введение метрических характеристик для решения задачи оценки и управления рисками* // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4 (32). – С. 10-22
5. АЖМУХАМЕДОВ И.М., ВЫБОРНОВА О.Н. *Формализация понятий приемлемого и толерантного рисков* // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 37. – № 3. – С. 63. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3240>.
6. АЖМУХАМЕДОВ И.М., КОЛЕСОВА Н.А. *Программная реализация вычислений с нечеткими числами* // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 2. – С.68-73.
7. АСАНОВ А.А., ЛАРИЧЕВ О.И. *Влияние надежности человеческой информации на результаты применения методов принятия решений* // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 5. – С. 20–31.
8. ВЛАДИМИРОВ В.Л., ВОРОБЬЕВ Ю.Л., САЛОВ С.С. *Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика* // М.: Наука. – 2000. – 431 с.
9. ВОРОНЦОВ Я.А., МАТВЕЕВ М.Г. *Методы параметризованного сравнения нечётких треугольных и трапецевидных чисел* // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2014. – № 2. – С. 90-97.

10. ВЫБОРНОВА О.Н. *Онтологическая модель процесса оценки рисков* // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – № 2. – С. 97-102.
11. *ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005:2010. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности.* – М.: Стандартинформ, 2011. – 94 с.
12. ЗАБОЛОТСКИЙ М.А., ПОЛЯКОВА И.А., ТИХОНИН А.В. *Применение когнитивного моделирования в управлении качеством подготовки специалистов* // Управление большими системами. – 2007. – № 16. – С. 91–98.
13. КАЛИТКИН Н.Н., АЛЬШИНА Е.А. *Численные методы: учебник для вузов: В 2-х кн. – Кн. 1: Численный анализ* – М.: Академия, 2013. – 304с.
14. КОРНОУШЕНКО Е.К., МАКСИМОВ В.И. *Управление ситуацией с использованием структурных свойств ее когнитивной карты* // Тр. ИПУ РАН. – Т. XI. – М.: ИПУ РАН, 2000. – С. 85–90.
15. КУЛИНИЧ А.А. *Когнитивная система поддержки принятия решений «Канва»* // Программные продукты и системы. – 2002. – № 3. – С. 25–28.
16. КУЛИНИЧ А.А., МАКСИМОВ В.И. *Система концептуального моделирования социально-политических ситуаций «Компас»* // Сб. докл. «Современные технологии управления». Науч.-практ. семинар «Современные технологии управления для администрации городов и регионов». – М., 1998. – С. 115–123.
17. ЛАРИЧЕВ О.И., МОШКОВИЧ Е.М. *Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решения* – М.: Наука, 2006. – 208 с.
18. МАКСИМОВ В.И. *Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций* // Проблемы управления. – 2005. – № 3. – С. 30–38.
19. МАКСИМОВ В.И., ГРИГОРЯН А.К., КОРНОУШЕНКО Е.К. *Программный комплекс «Ситуация» для моделирования и решения слабоформализованных проблем* // Между-

- нар. конф. по проблемам управления. – Т. 2.– М., 1999. – С. 58–65.
20. МАКСИМОВ В.И., КОРНОУШЕНКО Е.К. *Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач* // Труды ИПУ РАН. – М., 1999. – Т. 2. – С.95-109.
 21. *Политика по управлению рисками АО «Казына Капитал Менеджмент»*. – 2013. [Электронный ресурс] // Казахстанский фонд фондов прямых инвестиций – АО Казына Капитал Менеджмент: сайт – URL: <http://www.kcm-kazyna.kz/images/userfiles/files/risk%20rus.pdf> (дата обращения: 20.04.16)
 22. *Политика управления рисками в ОАО «МРСК Центра»*. – М., 2010. [Электронный ресурс] // МРСК Центра: сайт – URL: <http://www.mrsk-1.ru/docs/regulitions7.doc>.
 23. ПОСПЕЛОВ Д.С. «Серые» и/или «черно-белые» шкалы // Прикладная эргономика. Специальный выпуск «Рефлексивные процессы». – 1994. – № 1. – С. 15–21.
 24. *Приемлемый риск как уровень безопасности производства* [Электронный ресурс] – URL: http://studme.org/12810419/bzhd/priemlemyu_risk_kak_uroven_bezopasnosti_proizvodstva (дата обращения: 20.04.16)
 25. РОБЕРТС Ф.С. *Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам*. – М.: Наука, 1986. – 497 с.
 26. РОТШТЕЙН А.П., ШТОВБА С.Д. *Влияние методов деффузификации на скорость настройки нечеткой модели* // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – № 1. – С. 28-35.
 27. ЧЕМИСОВ С.Б. *Применение методологии IDEF0 с целью моделирования бизнес-процессов на предприятии* // Проблемы современной экономики. – 2009. – № 4. – С. 446-449.
 28. ЯРУШКИНА Н.Г. *Нечеткие гибридные системы. Теория и практика* – М.: Физматлит, 2007. – 208 с.
 29. *Enterprise Risk Management – Integrated Framework: Executive summary*. – COSO, 2004. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.coso.org/ERM-IntegratedFramework.htm> (дата обращения: 01.04.16).

30. HARRINGTON E.C. *The desirable function. Industrial Quality Control.* – 1965/ – V. 21., No. 10. – P. 494-498.
31. KOSKO B. *Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers.* – November 1994. – vol. 43, No. 11. – P. 1329-1333.
32. WAGENAAR W.A. *Risk evaluation and the causes of accidents.* In: K. Borcharding, O.Larichev, D. Messick (Eds.) *Contemporary Issues in Decision Making.* – North-Holland, Amsterdam: Elsevier Science Publishes, 1990. – P. 245-260.

RISK MANAGEMENT BASED ON FUZZY COGNITIVE APPROACH

Olga Vybornova, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Cand.Sc., postgraduate student (olga.vyb.90@gmail.com).

Iskandar Azhmuhamedov, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, professor, Doctor of Science, (aim_agtu@mail.ru).

Abstract: The method of determining the level of acceptable risk is proposed, which allows building a curve of acceptable risk in terms of subjective uncertainty. A fuzzy cognitive model is designed which summarized available information on the business processes of the organization; their supporting assets; possible threats to these assets, and measures to neutralize them; as well as negative events that may cause threat to assets. Based on it, the algorithm generated the current risk assessment is developed. Issues are set and solved to reduce the risks to acceptable levels in the presence of limited or unlimited resources allocated for this purpose.

Keywords: risk-management, curve of acceptable risk, fuzzy cognitive model of risk assessment.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...

Поступила в редакцию ...заполняется редактором...

Опубликована ...заполняется редактором...