

МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ РИСКА РЕШЕНИЙ, ПРИНИМАЕМЫХ ПРИ УПРАВЛЕНИИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

В.Я. Вилисов¹

(Технологический университет,
г. Королев, Моск. обл.,)

Предложен метод оценивания уровня риска, возникающего при управлении силами и средствами в чрезвычайных ситуациях (ЧС). Метод основан на использовании аппарата деревьев решений и матричных игр с Природой. В качестве основного инструмента выбран критерий Гурвица принятия решений в условиях риска и неопределенности. Ключевым элементом, отражающим степень риска в принимаемых решениях, служит параметр пессимизма-оптимизма Гурвица. В режиме имитационного моделирования на основе данных, близких к реальным, показана работоспособность всех основных элементов предложенного алгоритма. Подход и предложенный метод могут быть использованы в составе систем поддержки принятия решений, а также при подготовке и обучении персонала, управляющего ликвидацией ЧС.

Ключевые слова: риск, критерий Гурвица, дерево решений, оценивание, моделирование, ЛПР.

1. Введение

Управление силами и средствами в чрезвычайных ситуациях (ЧС) предполагает решение достаточно большого количества разнообразных управленческих задач, выполняемых лицом, принимающим решения (ЛПР), например, руководителем тушения

¹ Валерий Яковлевич Вилисов, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор (г. Королев, Моск. обл., ул. Гагарина, д. 42, vvib@yandex.ru)

пожара. При этом очень важную роль играет фактор времени [2, 8, 10]. В частности, ЛПР практически всегда стоит перед дилеммой – потратить часть времени на разведку, уточнение и прогнозирование ситуации или, используя свой опыт и интуицию, направлять силы и средства на ликвидацию ЧС. Функции оценивания состояния операционной среды и специальные операции (спасение людей, ликвидация очагов возгорания и др.) часто выполняются различными специализированными подразделениями [6, 7, 10].

ЛПР при этом обладают разным опытом, интуицией, профессионализмом и приемлемым для него уровнем управленческого риска. Уровень риска может варьироваться от крайней осторожности (пессимистическая позиция) до высокой рисковости (оптимистическая позиция). Опытный ЛПР в результате своей деятельности находит и интуитивно чувствует тот порог приемлемого риска, который обеспечивает максимальную эффективность решения операционных задач. ЛПР, обладающий малым опытом, еще не чувствует допустимый порог риска и в реальной ситуации, возникающей в ЧС, может недооценивать или переоценивать имеющуюся информацию о состоянии ЧС. Поэтому желательно было бы иметь некий инструмент, позволяющий оценивать величину приемлемого риска в действиях опытных ЛПР и контролировать управленческий риск других ЛПР [1, 11, 14].

В данной работе рассматривается один из аспектов построения моделей оценивания уровня риска в действиях ЛПР по наблюдениям за его решениями.

2. Постановка задачи

Рассмотрим задачу оценивания уровня риска, приемлемого лицом, принимающим решения, в контексте тушения пожара подразделениями противопожарной службы (ППС) в многоэтажном здании. В таких ситуациях время работает против спасателей, и ЛПР по текущей ситуации должны делать выбор: выполнить доразведку состояния объекта, направив звено газодымозащитной службы (ГДЗС) или сразу отправить спасателей. После доразведки подобная дилемма возникает вновь. Очень

осторожный ЛПР может сколь угодно долго циклить на доразведке (выяснять, где и сколько людей находится), не посылая спасателей. Рисковый оператор может сразу отправить спасателей для эвакуации людей, при этом последующая инспекция и анализ действий может подтвердить его правоту либо констатировать ошибочность принятого решения. Большой опыт и высокая квалификация ЛПР, как правило, обеспечивают высокую эффективность поисково-спасательных операций. Тот или иной уровень риска при принятии решений может быть оправданным (т.е. обеспечивающим приемлемую эффективность всей спасательной операции) или неоправданным, что дает основание предположить, что для определенных видов ЧС существует приемлемый (допустимый, эффективный) уровень риска при принятии решений.

Таким образом, возникает задача – каким показателем измерить риск ЛПР и как его оценить по наблюдениям за решениями, им принятыми. Формализацию задачи выполнена на основе использования деревьев решений [12] и критерия Гурвица [3, 4, 13] принятия решений в условиях риска и неопределенности, в котором параметр (λ) смеси максиминного и максимаксного критериев отражает степень приемлемого риска при принятии решений. Формализованное представление предлагаемого метода выполним на простейшем модельном примере.

Если представить выбор решений в рассматриваемом контексте в виде игры с природой, то платежная матрица может, например, иметь вид, приведенный в табл. 1.

Таблица 1. Платежная матрица

	$s_1 = a$	$s_2 = b$
$d_1 = 0$	2	2
$d_2 = 1$	1	3

В табл. 1 решение $d_2 = 1$ означает направление звена спасателей для эвакуации людей; $d_1 = 0$ – спасателей направлять не следует (а может быть, направить звено разведки); состояние $s_1 = a$ отражает информацию о максимальной рассредоточенно-

сти людей по помещениям здания; состояние $s_2 = b$ – соответствует ситуации, когда все люди локализованы в одном определенном помещении здания. Платежи в таблице отражают количество спасенных людей при различных сочетаниях состояний Природы и принятых решениях. В дальнейшем, без потери общности, будем рассматривать в качестве платежей количество спасенных людей, хотя в реальной пожарной статистике [5] для каждого случая ЧС абсолютное количество спасенных людей существенно варьируется и более универсальной единицей измерения платежа была бы доля спасенных людей в той или иной ЧС. Однако, в случае необходимости, относительные единицы (доли) могут быть пересчитаны в абсолютные и наоборот. Значения элементов платежной матрицы могут быть получены в виде оценок по многочисленным статистическим данным, представляемым в актах и карточках пожаров [5, 8].

Для большей адекватности моделей реальным ситуациям и с учетом необходимости измерения элементов модели по реальной статистике ЧС, представим состояния s_j в единицах негэнтропии (экстропии), т.е. величины, противоположенной энтропии [15]:

$$(1) \quad h(\bar{p}) = 1 + \sum_{i=1}^n p_i \log_n p_i.$$

Здесь $\bar{p} = [p_1 \quad p_2 \quad \dots \quad p_n]^T$ – вектор вероятностей (доли) пребывания людей в том или ином из n помещений; T – символ транспонирования. Здесь и далее будем использовать логарифм по основанию, равному числу элементов (помещений), что обеспечивает варьирование энтропии в интервале $[0; 1]$. Использование негэнтропии в качестве меры рассеяния людей по помещениям позволяет единообразно учитывать различные статистические данные о пожарах в зданиях. Данная мера позволяет также унифицировать состояния Природы – от двух (см. табл. 1) и выше в зависимости от необходимой степени дифференциации распределения людей в здании по помещениям. Таким образом, $h(\bar{p})$ можно считать показателем степени концентрации людей – при равномерной распределенности по помещениям $h(\bar{p}) = 0$, при концентрации всех в одном помещении $h(\bar{p}) = 1$. Чем выше кон-

центрация людей, тем, как правило, легче проводить их эвакуацию, в том числе потому, что не требуется отыскивать их по отдельным помещениям в сложных условиях ЧС и при дефиците времени. По мере выполнения поисково-спасательной операции показатель $h(\bar{p})$ может как увеличиваться, так и уменьшаться. Так разведка, проводимая непрерывно или циклически, увеличивает негэнтропию, снимая неопределенность, а стихия пожара (или другого вида ЧС) может его уменьшить, например, разогнав людей из одного помещения по разным, в силу опасности пребывания в нем. Статистические данные [5, 7] показывают, например, что звено ГДЗС, состоящее из двух человек, может эвакуировать за один раз двух человек с вероятностью 1, трех человек – с вероятностью 0,4, четырех – с вероятностью 0,2.

Формально, наличие платежной матрицы достаточно для принятия решения, оптимального в смысле того или иного критерия выбора вариантов в условиях риска и неопределенности (Вальда, Лапласа-Байеса, Гурвица, Сэвиджа и др.) [13]. Однако, подобные одноходовые процедуры не соответствуют типовым схемам действий ЛПР, представленным, например, в руководствах по тушению пожара (пожарной тактике). Принятию решения в них, как правило, предшествует разведка, выполняемая звеном ГДЗС в составе 2-5 человек. С учетом этого, в большей степени соответствующей пожарной тактике является многошаговая процедура принятия решений, представленная, например, деревом решений (см. рис. 1).

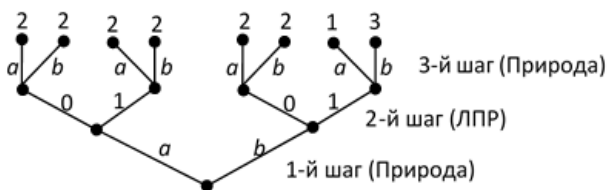


Рис. 1. Дерево решений при управлении ликвидацией ЧС

Здесь первый шаг соответствует исходной информации, которой располагает ЛПР о местоположении людей в здании: исход

a соответствует значению $h(\bar{p}) = 0$; исход b соответствует значению $h(\bar{p}) = 1$. В случае большего числа исходов Природы (уровней градаций негэнтропии) дерево будет более разветвленным и разнообразие ситуаций управления большим. Однако, для иллюстрации подхода рассмотрим и далее этот простой пример.

На втором шаге по текущей информации (a или b) ЛППР делает свой выбор: 1 – посылать звено спасателей; 0 – не посылать его, а дожидаться дополнительной информации, например, от беспилотных средств и/или, послав звено разведки.

На третьем шаге проявляется фактическое состояние Природы (нахождение людей в тех или иных помещениях) и происходит платеж – определяется вклад данного цикла управления в общий вклад поисково-спасательной операции (значения на конечных вершинах дерева).

Если ЛППР направляет в очаг ЧС (здание) звено разведки или исходная ситуация максимально неопределенная (a на первом шаге), то текущий платеж составляет некую величину, усредненную за множество последующих циклов управления и составляющую в данном примере величину 2.

Поскольку ЛППР принимает на втором шаге решения (d_i) в зависимости от оценки состояния на первом шаге (условные решения), то подобные решения обычно [9] представляют в виде вектора стратегий:

$$(2) \quad f = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix},$$

где, если на первом шаге оценка состояния Природы - a , то ЛППР принимает решение x , а если - b , то y . Здесь $x, y \in \{0; 1\}$. Таким образом, ЛППР располагает четырьмя стратегиями:

$$(3) \quad f_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}; f_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}; f_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}; f_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, эти четыре стратегии и являются расширенным набором решений ЛППР. В терминах теории матричных игр [9, 13] их можно считать чистыми стратегиями ЛППР. Для дальнейшего анализа приведем дерево решений к нормальной форме [9, 12], построив соответствующую ему матрицу платежей. Две стороны (ЛППР и Природа) участвуют в игре таким образом, что Природа, несмотря на бинарный выбор на каждом шаге, с учетом двух шагов (первого и третьего) в одной реализации игры имеет

четыре чистые стратегии: (a, a) , (a, b) , (b, a) , (b, b) . Матрица платежей этой игры будет иметь вид:

Таблица 2. Платежная матрица по дереву решений

	$s_1 = (a, a)$	$s_2 = (a, b)$	$s_3 = (b, a)$	$s_4 = (b, b)$
$f_1 = [0 \ 0]^T$	2	2	2	2
$f_2 = [0 \ 1]^T$	2	2	1	3
$f_3 = [1 \ 0]^T$	2	2	2	2
$f_4 = [1 \ 1]^T$	2	2	1	3

Из табл. 2 видно, что для рассматриваемого варианта платежей стратегия ЛПР f_3 дублирует стратегию f_1 , а стратегия f_4 дублирует стратегию f_2 . Аналогично для стратегий Природы – стратегия s_2 дублирует s_1 , а стратегия s_3 доминирует над стратегией s_2 . Поэтому, исключая дублирующие и доминируемые строки и столбцы в матрице платежей для дальнейшего анализа можно рассматривать лишь выделенный фрагмент матрицы, который для рассматриваемого частного набора данных совпал с исходной матрицей двухшагового дерева решений (см. табл. 1), однако в общем случае это не всегда так. Элементы платежной матрицы обозначим c_{ij} , где i – номер строки, j – номер столбца.

Поведение ЛПР представим одним из алгоритмов (критериев) выбора решений в условиях риска и неопределенности, отражающим спектр степеней риска ЛПР – от крайней осторожности (критерий Вальда) до крайне рисковости (критерий Оптимистический). Таковым является критерий Гурвица, параметр $\lambda \in [0; 1]$ которого и отражает весь спектр уровней рисковости ЛПР – при $\lambda = 1$ он превращается в критерий Вальда, а при $\lambda = 0$ – в Оптимистический критерий.

По критерию Гурвица значение целевой функции для каждой (i – ой) стратегии ЛПР имеет вид:

$$(4) \quad L(f_i) = \lambda \min_j c_{ij} + (1 - \lambda) \max_j c_{ij},$$

а критерий, как правило выбора оптимального значения аргумента целевой функции:

$$(5) \quad f_{opt} = \arg \max_i L(f_i).$$

Использование критерия Гурвица позволяет найти оптимальное решение для заданного значения параметра λ . Однако, задать его априори и обосновать выбранное значение в реальной практике сложно [3].

3. Решение

Рассмотрим ситуацию, когда по решениям, уже принятым ЛПР, необходимо оценить величину параметра λ . Имея выражение (4) можно построить зависимости $L_{opt}(\lambda)$ и $f_{opt}(\lambda)$. Для рассматриваемого примера эти зависимости приведены на рис 2.

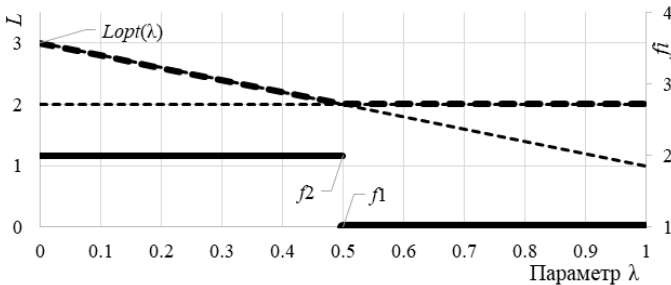


Рис. 2. Параметрические зависимости оптимальных значений целевой функции $L_{opt}(\lambda)$ и решения ЛПР $f_{opt}(\lambda)$

На основании полученных зависимостей $L_{opt}(\lambda)$ и $f_{opt}(\lambda)$ могут быть построены и обратные функции: $\lambda(L_{opt})$ и $\lambda(f_{opt})$. Тогда по наблюдениям за решениями, принятыми ЛПР может быть получена оценка параметра $\lambda \in [0; 1]$, в которой и отразится величина риска, свойственная данному ЛПР.

Так, если, по данным наблюдений, ЛПР использует стратегию f_1 , т.е. при любой информации о пребывании людей принимает решение $d_1 = 0$ (направляет не спасателей, а звено разведки), то его показатель риска находится в интервале $[0,5; 1]$ что соответствует уровню риска, более близкому к тому, что заложен в критерий Вальда – позиция крайнего пессимизма (максиминное решающее правило). Если, судя по наблюдениям, используется стратегия f_2 , т.е. при неопределенной информации о пребывании

людей на первом шаге ($h = 0$), ЛПР принимает решение $d_1 = 0$ (доразведка), а при полной определенности ($h = 1$) – решение $d_2 = 1$ (работают спасатели), то его показатель риска находится в интервале $[0; 0,5]$ что соответствует уровню риска, более близкому к тому, что заложен в Оптимистический критерий – позиция крайнего оптимизма (максимаксное решающее правило). Конечно, подобная интервальная оценка, полученная по обратной функции $\lambda(f_{opt})$, в некоторых случаях может быть достаточно грубой. Но исследования показывают, что при большем количестве состояний (уровней негэнтропии) можно получить более точную (с меньшим интервалом) оценку показателя риска λ .

Заметим, что в реальной практике ЛПР может и не придерживаться одной чистой стратегии, а использовать смешанную стратегию, в которой чистые стратегии участвуют с некоторыми частотами [9, 13]. Тогда величину риска, которой придерживается ЛПР, можно оценивать по наиболее часто используемой чистой стратегии либо вычислить как средневзвешенное значение с учетом частот (как весов) использования чистых стратегий.

4. Алгоритм

Типовую последовательность действий по выявлению уровня риска, допускаемого ЛПР в процессе принятия решений, можно представить в виде следующей последовательности этапов.

Этап 1. Представить дерево решений в нормальной (матричной или табличной форме) одним из существующих способов [9].

Этап 2. Построить зависимости значений оптимальной целевой функции и оптимальных решений от параметра λ : $L_{opt}(\lambda)$ и $f_{opt}(\lambda)$, воспользовавшись выражениями для критерия Гурвица (4) и (5). По ним построить обратные функции: $\lambda(L_{opt})$ и $\lambda(f_{opt})$.

Этап 3. По статистическим данным наблюдений за решениями ЛПР на основании обратной зависимости $\lambda(f_{opt})$ вычислить оценку параметра λ , которая и будет соответствовать уровню риска ЛПР.

5. Имитационный эксперимент

Рассмотрим вариант задачи в котором имеется три уровня дерева решений и четыре уровня неопределенности пребывания людей, т.е. значений негэнтропии (см. рис. 3).

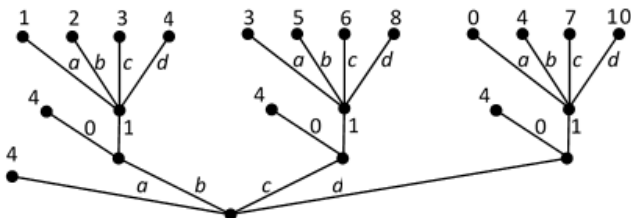


Рис. 3. Дерево решений с четырьмя исходами и двумя решениями

Дерево приведено в сокращенном варианте – фрагменты, соответствующие необходимости доразведки опущены. Уровни состояний соответствуют четырем значениям негэнтропии, например, $h \in \{0; 0,25; 0,5; 0,75\}$, полагая, что полной определенности получить невозможно. Этим значениям соответствуют и состояния $s_i \in \{a; b; c; d\}$. На первом шаге дерева при состоянии a ЛПР направляет процесс на доразведку, а при остальных состояниях происходит движение по дереву. Тогда при нормализации дерева решений будут приниматься во внимание восемь чистых стратегий ЛПР, соответствующие трем значениям состояний на первом шаге дерева ($b; c; d$):

$$(6) \quad f_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; f_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; f_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}; f_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}; f_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$f_6 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}; f_7 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}; f_8 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Чистые стратегии Природы будут определяться всеми возможными сочетаниями трех значений состояний на первом шаге и четырех – на третьем (всего – 12 состояний от s_1 до s_{12}): (b, a) , (b, b) , (b, c) , (b, d) , (c, a) , (c, b) , (c, c) , (c, d) , (d, a) , (d, b) , (d, c) ,

(d, d) . Платежная матрица, построенная по дереву решений, имеет размерность 8×12 (см. табл. 3).

Таблица 3. Платежная матрица дерева решений

		s_i											
		ba	bb	bc	bd	ca	cb	cc	cd	da	db	dc	dd
f_i	000	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	001	3	3	3	3	3	3	3	3	0	4	7	10
	010	4	4	4	4	3	5	6	8	4	4	4	4
	011	4	4	4	4	3	5	6	8	0	4	7	10
	100	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	101	1	2	3	4	4	4	4	4	0	4	7	10
	110	1	2	3	4	3	5	6	8	4	4	4	4
	111	1	2	3	4	3	5	6	8	0	4	7	10

Для построения зависимости $f_{opt}(\lambda)$ проварьированы значения λ с шагом 0.1 на интервале $[0; 1]$ и для каждого значения вычислены оптимальные значения целевой функции $L(f_i)$. Шаг варьирования λ может быть сколь угодно малым для обеспечения необходимой точности. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4. Оптимальные значения целевой функции критерия Гурвица

		λ											
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
f_i	000	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
	001	10,0	9,1	8,2	7,3	6,4	5,5	4,6	3,7	2,8	1,9	1,0	
	010	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	
	011	10,0	9,1	8,2	7,3	6,4	5,5	4,6	3,7	2,8	1,9	1,0	
	100	4,0	3,7	3,4	3,1	2,8	2,5	2,2	1,9	1,6	1,3	1,0	
	101	10,0	9,1	8,2	7,3	6,4	5,5	4,6	3,7	2,8	1,9	1,0	
	110	8,0	7,3	6,6	5,9	5,2	4,5	3,8	3,1	2,4	1,7	1,0	
	111	10,0	9,1	8,2	7,3	6,4	5,5	4,6	3,7	2,8	1,9	1,0	
$L_{opt}(\lambda)$		10,0	9,1	8,2	7,3	6,4	5,5	5,0	4,5	4,0	4,0	4,0	
$f_{opt}(\lambda)$		f_2	f_2	f_2	f_2	f_2	f_3	f_3	f_3	f_1	f_1	f_1	

Построенные по результатам варьирования параметра λ функции $L_{opt}(\lambda)$ и $f_{opt}(\lambda)$ представлены на рис. 4. Как видно из табл. 4, на интервале $\lambda \in [0; 0,5]$ функция многозначна ($f_i = f_1, f_2, f_3, f_4$). Могут быть построены и обратные функции $\lambda(L_{opt})$ и $\lambda(f_{opt})$. Следует отметить, что в зависимости от конкретных значений платежной матрицы, количество линейных фрагментов, составляющих монотонно убывающую (невозрастающую) кусочно-линейную функцию $L_{opt}(\lambda)$ может меняться от одного до количества чистых стратегий (в данном случае – до восьми). Таким же будет и количество участков кусочно-постоянной функции $f_{opt}(\lambda)$.

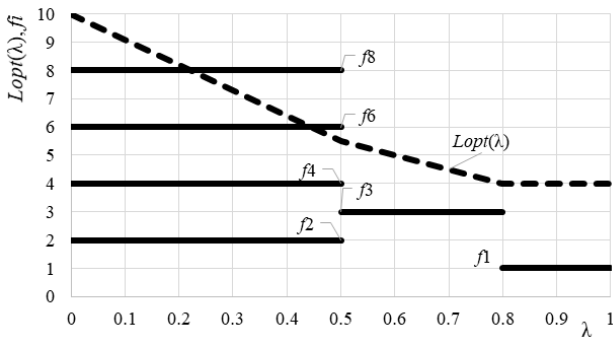


Рис. 4. Прямые функции $L_{opt}(\lambda)$ и $f_{opt}(\lambda)$

При имитационном моделировании поведения ЛПР было принято, что ЛПР придерживается чистой стратегии f_3 . Смешанные стратегии ЛПР, т.е. использование им своих чистых стратегий с некоторыми вероятностями, в данном имитационном эксперименте не применялись. Статистические свойства (вероятности) состояний Природы, возникающих на первом и третьем шагах дерева решений, при имитации были приняты следующими: $P(a) = 0,3$; $P(b) = 0,3$; $P(c) = 0,3$; $P(d) = 0,1$.

Фрагмент симитированной реализации наблюдений за возникающими состояниями Природы и решениями, принятыми ЛПР, приведен в табл. 5.

Таблица 5. Фрагмент выборки наблюдений

Наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	...	100
Шаг 1 (Природа)	с	б	с	с	б	с	б	с	...	б
Шаг 2 (ЛПР)	1	0	1	1	0	1	0	1	...	0
Шаг 3 (Природа)	а	с	а	с	а	б	д	с	...	а
Платеж	3	4	3	6	4	5	4	6	...	4

В результате пошагового анализа, по мере поступления наблюдений, строилась точечная и интервальная оценки стратегии, применяемой ЛПР. Точечная оценка заключается в определении на каждом шаге, не выявилась ли какая-то конкретная стратегия из восьми. На 20-ом шаге наблюдений по реакции ЛПР на все проявившиеся к этому моменту состояния первого шага дерева решений, выявилась (в качестве оценки) его стратегия f_3 . Интервальная оценка строилась путем исключения из списка претендентов (всего набора чистых стратегий) тех стратегий, которым противоречат решения, принятые ЛПР на текущем шаге наблюдений. Интервальная оценка также на 20-м шаге сошлась к стратегии f_3 (рис. 5).

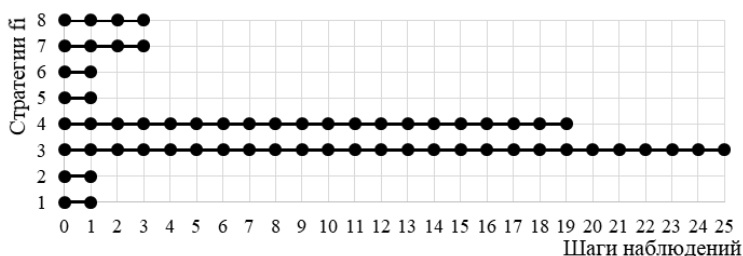


Рис. 5. Пошаговая интервальная оценка стратегии ЛПР

На рис. 6 приведены обратные функции $\lambda(L_{opt})$ и $\lambda(f_{opt})$. Они, как и прямые функции, многозначны в дискретных значениях аргумента f_i .

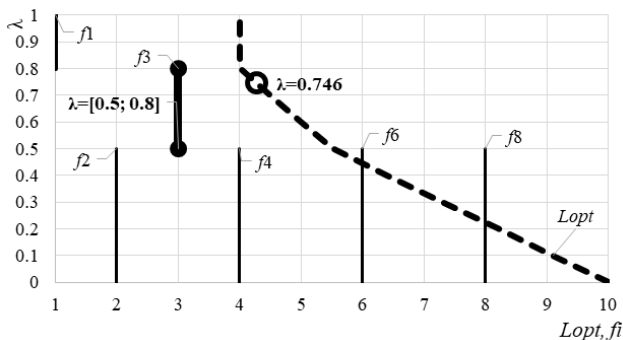


Рис. 6. Обратные функции $\lambda(L_{opt})$ и $\lambda(f_{opt})$

На основании выявленной стратегии ЛПР (f_3) на функции $\lambda(f_{opt})$ выделен интервал $\lambda \in [0,5; 0,8]$, которому соответствует уровень риска ЛПР. Таким образом, оценкой степени риска λ в принимаемых ЛПР решениях, является интервал $[0,5; 0,8]$.

Среднее значение платежа за период наблюдений составила $\hat{L}_{opt} = 4,27$. Значение функции $\lambda(L_{opt})$ не противоречит полученной оценке λ т.к. величина $\lambda(\hat{L}_{opt}) = 0,746$, т.е. находится в пределах интервальной оценки риска.

Выводы

Предложенный алгоритм выявления уровня риска в решениях, принятых ЛПР в ходе проведения поисково-спасательных операций в условиях чрезвычайных ситуаций, позволяет выявить стратегию, которой придерживается ЛПР и оценить средний платеж. Если полученный эффект от управления признается компетентными лицами (экспертами), оценивающими решения, удовлетворительным, то в дальнейшем подобный уровень риска может быть признан приемлемым, а на его основе могут быть построены системы поддержки принятия решений при управлении поисково-спасательными операциями подобного типа.

Применение предложенного подхода может позволить выявить, по статистическим данным о решениях, принимаемых за-

ведомо эффективными и опытными ЛПР (экспертами), предельно достижимые уровни эффекта (количество спасенных в чрезвычайных ситуациях людей) и соответствующие им эталонные стратегии принятия решений. Подобные предельные эффекты и эталонные стратегии могут служить ориентиром при обучении менее опытных ЛПР, действующих в чрезвычайных ситуациях.

Таким образом, предложенный подход позволяет обеспечить уровень риска, приемлемый и согласованный с экспертами, оценивающими качество и эффективность управления операциями в чрезвычайных ситуациях.

Литература

1. БРУШЛИНСКИЙ Н.Н., КЛЕПКО Е.А. *К вопросу о локальных и интегральных рисках* // Вестник Академии ГПС МЧС России. № 6. М.: Академия ГПС. 2007. - С. 93-96.
2. БРУШЛИНСКИЙ Н.Н., СОКОЛОВ С.В. *Математические методы и модели управления в ГПС и РСЧС*. - М.: АГПС МЧС России. 2011. - 250 с.
3. ВИЛЕНСКИЙ П.Л., ЛИВШИЦ В.Н., СМОЛЯК С.А. *Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика*. - М.: Дело. 2002. - 888 с.
4. ВИЛИСОВ В.Я. *Адаптивный выбор управленческих решений. Модели исследования операций как средство хранения знаний ЛПР*. - Саарбрюкен (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. - 376 с.
5. *Пожары и пожарная безопасность в 2016 г.* // Статистический сборник. М: ФГУ ВНИИПО. 2017. - 124 с.
6. СЕМИКОВ В.Л. *Комплексные исследования проблем безопасности* // Технологии техносферной безопасности. Вып. 5(69). 2016. - С. 192-197 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-5/31-05-15.ttb.pdf> (дата обращения 10.04.2018).
7. ТЕТЕРИН И.М., ТОПОЛЬСКИЙ Н.Г., КЛИМОВЦОВ В.М., ПРУС Ю.В. *Применение математической теории игр в системе поддержки принятия решений руководителем тушения пожара* // Технологии техносферной безопасности. Вып.

- 6(22). 2008. - С. 1-21 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2008-6/09-06-08.ttb.pdf> (дата обращения 10.04.2018).
8. *Технический регламент о требованиях пожарной безопасности*. Федеральный закон РФ от 22.07.2008 №123-ФЗ // Российская газета. 2008. №163.
 9. ОУЭН Г. *Теория игр*. - М.: Мир. 1971. - 230 с.
 10. ПОВЗИК Я.С. *Пожарная тактика*. - М: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА». 2004. - 416 с.
 11. *Пожарные риски: динамика, управление, прогнозирование*. Под ред. Н.Н. Брушлинского, Ю.Н. Шебеко. - М.: ВНИИПО. 2007. - 370 с.
 12. РАЙФА Г. *Анализ решений*. - М.: Наука. 1977. - 408 с.
 13. ТАХА Х.А. *Введение в исследование операций*. - М.: Изд. дом Вильямс. 2005. - 912 с.
 14. *Управление пожарной безопасностью субъектов Российской Федерации на основе анализа пожарных рисков* / Брушлинский Н.Н., Клепко Е.А., Попков С.Ю., Соколов С.В. // Проблемы пожарной безопасности и чрезвычайных ситуаций. № 3. М. 2010. - 16 с.
 15. ШЕННОН К. *Работы по теории информации и кибернетике*. - М.: Издательство иностранной литературы. 1963. - 832 с.

MODELING THE LEVEL OF RISK OF DECISIONS ACCEPTED AT MANAGEMENT IN EMERGENCY SITUATIONS

Valery Vilisov, University of Technology, Korolev, Moscow Region, Doctor of Economics, Ph.D. of Technical Sciences, Professor (Korolev, Moscow Region, Gagarin St., 42, vvib@yandex.ru)

Abstract: Material damage and the number of deaths in fires and other emergencies are still very large. Therefore, the task remains to improve the effectiveness of emergency management. An important tool for solving this problem are systems and mathematical methods

for supporting decision-making. The article suggests a method for assessing the level of risk that arises in the management of forces and assets in emergency situations. The method is based on the use of the apparatus of the trees of solutions and matrix games with Nature. As the main tool selected criterion Hurwitz decision-making in a risk and uncertainty. A key element that reflects the degree of risk in the decisions taken is the Hurwitz pessimism-optimism parameter. In the simulation simulation mode, based on data close to real, the operability of all the main elements of the proposed algorithm is shown. The approach and the proposed method can be used as part of decision support systems, as well as in the training and training of personnel managing the emergency situations.

Key words: risk, Hurwitz criterion, decision tree, estimation, modeling, decision maker.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии
Поступила в редакцию
Опубликована*