



УДК 519.816

# АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ПРОЕКТОВ ПОСТРОЕНИЯ АНТИТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В СИСТЕМЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

А. С. Самохина

*Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва*

Рассмотрены методы и алгоритмы, применяемые в системе поддержки принятия решений в целях определения, оценки и выбора задач и проектов для проведения антитеррористического мониторинга по предотвращению биотеррактов.

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие внимание политиков, военных и гражданских специалистов к проблеме биологического терроризма постоянно усиливается. Обсуждаются возможные биологические агенты вирусной и бактериальной природы, анализируются возможные варианты противодействия применению этих агентов и обеспеченность эпидемиологических служб подготовленным персоналом, диагностическими и лечебными средствами. Обсуждается также построение системы предупреждения, противодействия и ликвидации последствий биологической чрезвычайной ситуации (БЧС).

Сценарии биотеррактов крайне неоптимистичны как в смысле человеческих потерь, так и затрат на ликвидацию прямых последствий такой акции, а также потерь от дезорганизации экономики региона и последствий психологического воздействия на население. Применение компьютерной техники при принятии решений по предупреждению, противодействию и ликвидации последствий биотеррактов крайне необходимо, так как время играет решающую роль в нанесении ущерба от такого вида терроризма.

Построение системы предотвращения БЧС включает в себя выполнение определенных действий по созданию новых и изменению существующих структур [1, 2]. Такого вида деятельность можно представить в виде проектов. Под проектом будем понимать ограниченное во времени целенаправленное изменение отдельной системы с установленными требованиями к качеству результатов, возможными рамками расхода средств и ресурсов и специфической организацией [3]. Каждый проект предполагает решение многочисленных задач. Проект является уникальным мероприятием, включающим в се-

бя некоторые, неизвестные ранее составляющие, поэтому особую роль в управлении проектами играют экспертные группы (ЭГ), снабженные инструментом — системой поддержки принятия решений (СППР).

Перед экспертной группой, выбирающей проект создания системы предупреждения, противодействия и ликвидации последствий биотерракта и, в частности, антитеррористического мониторинга (АМ) — одной из функций — системы предотвращения БЧС, стоят следующие задачи:

- оценить ситуацию в целом и значимость отдельных составляющих;
- определить стратегические цели АМ;
- рассмотреть возможные проекты по осуществлению АМ, оценить соответствие результатов работы проектов стратегическим целям, проанализировать последствия и эффективность каждого проекта;
- выбрать решение, наилучшее с точки зрения ЭГ.

Для выполнения этих задач с помощью компьютера необходимо использовать формализованные человеко-машинные процедуры, описанные далее.

## 1. АНАЛИЗ СИТУАЦИИ В ЦЕЛОМ

Для анализа ситуации в целом надо сформировать набор критериев оценки ситуации для последующего выбора проекта АМ. Каждый член ЭГ с помощью подсказок меню компьютерного интерфейса в виде таблиц для экспертной оценки факторов, имея возможность их расширения и сокращения, определяет набор критериев оценки ситуации, исходя из принятых стандартов и своих предпочтений. Критерии могут быть следующими:

—  $P_1$  — внешняя политическая ситуация, проблемы внешней политики;



- $P_2$  — отношения со странами, граждане которых участвовали в террористических актах;
- $P_3$  — политическая ситуация внутри страны;
- $P_4$  — выявление сил, заинтересованных в био-теракте;
- $P_5$  — оценка экономической ситуации в стране на предмет построения инфраструктуры АМ (развертывание диспетчерской службы, частота и плотность забора проб воздуха, воды и почвы силами санитарной службы, создание и поддержание единой базы данных, создание компьютерной информационной сети и системы принятия решений и т. д.);
- $P_6$  — наличие «узких мест» в медицине, фармакологии;
- $P_7$  — наличие «узких мест» в безопасности значимых объектов, а также в охране биологических и вирусологических лабораторий;
- $P_8$  — отношение со средствами массовой информации — их помощь или противодействие проводимым антитеррористическим действиям.

## 2. АЛГОРИТМ СОГЛАСОВАНИЯ СПИСКА КРИТЕРИЕВ

Алгоритм согласования экспертами списка критериев оценки ситуации заключается в следующем:

— каждый член ЭГ вырабатывает свой список критериев, которыми можно оценить ситуацию, с целью последующего принятия решений по осуществлению АМ — множество  $P_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

— каждый член ЭГ знакомится со всеми другими списками;

— член ЭГ создает обновленный список критериев с учетом, или без него, чужих списков — это множество  $P_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

— составляется объединенный список с учетом спис-

ка каждого члена ЭГ — это множество  $P = \bigcup_{i=1}^n P_i$ .

Каждому критерию  $P_i$  каждый член ЭГ присваивает его важность  $\sigma_i$  и значение критерия  $\alpha_i$ , формируя табл. 1. Всего будет  $N$  таблиц, где  $N$  — число экспертов.

Таблица 1

Таблица критериев  $k$ -го эксперта

Критерий	Важность критерия	Значение критерия
$P_1$	$\sigma_1^k$	$\alpha_1^k$
$P_2$	$\sigma_2^k$	$\alpha_2^k$
...	...	...
$P_n$	$\sigma_n^k$	$\alpha_n^k$

## 3. ВЫЧИСЛЕНИЕ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА

Используя критерии, важности и значения критериев, можно рассчитать функцию качества обстановки в

целом для одного эксперта  $\Phi^k = \sum_{i=1}^n \sigma_i^k \alpha_i^k$  и усреднен-

ную функцию качества  $\bar{\Phi}^k = \Phi^k/n$  для одного эксперта.

Усредненная функция качества для  $N$  экспертов выглядит следующим образом:

$$\bar{\Phi} = \sum_{k=1}^N \bar{\Phi}^k / N.$$

Функция качества, рассчитанная для единичного случая, не является информативной, но в динамике она несет большую информацию, например, можно увидеть, как изменяется функция качества во времени по регионам одной страны, по странам.

## 4. ГЕНЕРИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ АНТИТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

После того, как с помощью СППР члены ЭГ оценили сегодняшнюю ситуацию, исследовали ее динамику, сравнили с обстановкой в соседних регионах, после оценки потенциальной опасности, которая может возникнуть вследствие неисполнения мер АМ, члены ЭГ определяют задачи (работы, операции), входящие в АМ, ранжируют их по приоритетам исполнения, по материальным и временным затратам. Эти задачи могут переплетаться между собой самым причудливым образом: объединяться, противоречить друг другу, требовать компромисса, быть взаимоисключающими и т. д. Наборы таких задач образуют проект.

Компьютерная поддержка формирования списка задач, входящих в проект, может включать в себя:

- создание списка возможных задач;
- определение списка критериев для оценки этих задач;
- определение веса критерия для каждой задачи;
- ранжирование задач по критериальным оценкам;
- построение возможных пластов, деревьев задач;
- проверка непротиворечивости критериев формируемых задач;
- проверка реализуемости поставленных задач;
- оценка и выбор задач, выполнение которых поможет осуществлять АМ, включение их в проект.

Для выполнения АМ можно выделить задачи создания:

- компьютерной системы поддержки принятия решений при БТ —  $A_1$ ;
- диспетчерской службы сообщения о БЧС —  $A_2$ ;
- автоматизированной информационно-управляющей системы профилактики и ликвидации последствий БЧС —  $A_3$ ;
- передвижных фармакологических лабораторий —  $A_4$ ;
- автоматизированной системы диагностики инфекционных заболеваний —  $A_5$ ;
- системы мониторинга средств массовой информации —  $A_6$ ;
- единой информационной системы «Поликлиника» —  $A_7$ .



Все задачи, относящиеся к АМ, требуют очень больших затрат, поэтому выбор приоритетных направлений является ответственной обязанностью членов ЭГ. Согласование списка начинается с того, что на дисплеях членов ЭГ возникает список задач, решение которых поможет осуществить АМ. Каждый член ЭГ может дописать новые задачи, не вычеркивая уже написанные. Принятыми к обсуждению будут считаться все задачи из списка.

Для согласования списка задач АМ каждый член ЭГ вырабатывает свой список задач, входящих в АМ — множество  $A_i'$ ; знакомится со всеми другими списками; создает обновленный список задач с учетом, или без него, чужих списков — множество  $A_i$ .

Затем составляется объединенный список с учетом списка каждого члена ЭГ — множество  $A = \bigcup_{i=1}^l A_i$ .

## 5. СОГЛАСОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ЗАДАЧ АНТИТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Для оценки сил и средств, необходимых для решения каждой задачи  $A_i$ , составляются характеризующие ее критерии  $P_{ij}^k$ , где  $k$  — эксперт,  $i$  — номер задачи из списка задач,  $j$  — номер критерия для выбранной задачи. Критерии для каждой задачи разные, но могут быть общие, например:

- $P_1$  — существующее состояние, задел;
- $P_2$  — время, необходимое для решения поставленной задачи;
- $P_3$  — финансовые ресурсы, необходимые для решения поставленной задачи;
- $P_4$  — сбалансированность списка задач и каждой задачи из списка;
- $P_5$  — наличие резерва профессионалов, необходимых для решения поставленной задачи;
- $P_6$  — эффективность влияния рассматриваемой задачи на АМ.

В список критериев могут быть внесены: число людей, требуемых для выполнения работы, технические средства, объем выполняемой работы и др.

Путем согласования и объединения всех критериев по каждой задаче вырабатывается объединенный список

критериев  $P_{ij} = \bigcup_{i=1}^n P_{ij}^k$ . Алгоритм согласования списка

критериев задач аналогичен алгоритму согласования списка задач. Для всех рассматриваемых задач список критериев может быть разным.

## 6. ОЦЕНКА ВАЖНОСТИ ЗАДАЧИ

Критерии  $P_1, \dots, P_n$  должны быть ранжированы путем совместных действий СППР и экспертов. Алгоритм ранжирования аналогичен как для одного эксперта, так и для совместного решения  $k$  экспертов. Оценить и ран-

Таблица 2

Таблица парных сравнений критериев по важности

—	$P_1$	$P_2$	$P_3$	...	$P_n$
$P_1$	0	-1	3	...	-3
$P_2$	1	0	-1	...	1
$P_3$	-3	1	0	...	3
...	...	...	...	...	-1
$P_n$	3	-1	-3	1	0

жировать несколько объектов, если их больше пяти, очень сложно, так как приходится одновременно оперировать многими понятиями. Парное же сравнение объектов не вызывает трудностей [4].

Каждый эксперт заполняет таблицы парных сравнений (табл. 2), т. е. имеем  $k$  таблиц, элементы которых  $p_{ij}^k$  определяются следующим образом:

- если  $P_i$  важнее  $P_j$ , то  $p_{ij}^k = 1$ ;
- если  $P_i$  значительно важнее  $P_j$ , то  $p_{ij}^k = 3$ ;
- если  $P_i$  менее важно, чем  $P_j$ , то  $p_{ij}^k = -1$ ;
- если  $P_i$  существенно менее важно, чем  $P_j$ , то  $p_{ij}^k = -3$ ;
- если  $P_i$  равноценно  $P_j$ , то  $p_{ij}^k = 0$ .

Эксперты заполняют только треугольную нижнюю матрицу, верхнюю треугольную матрицу система заполняет автоматически в силу соотношения  $p_{ij}^k = -p_{ji}^k$ .

Если имеются  $N$  экспертов, то усредненные функции парных сравнений по важности  $p_{ij}^k$  определяются следующей формулой:

$$p_{ij}^k = \left( \sum_{k=1}^N p_{ij}^k \right) / N.$$

В решении задач ранжирования важно не попасть в конфликтную ситуацию, когда  $a$  более важно, чем  $b$ ,  $b$  более важно, чем  $c$ , а  $c$  более важно, чем  $a$ . Математических методов согласования конфликтов нет, поэтому конфликтные ситуации просто не рассматриваются. Ниже предлагается алгоритм ранжирования на основе максимизации функции качества, другими словами, определяется такая последовательность, которая будет наилучшей в рамках данной информации.

Алгоритм построения линейной иерархии основан на максимизации функционала качества:

$$F(i_1, i_2, \dots, i_n) = \sum_{l=1}^{n-1} \sum_{m=2}^n p(i_l, i_m).$$

Таким образом, перебирая все возможные расположения объектов, каждый раз находим число, которое соответствует этому расположению объектов.



Наилучшее ранжирование объектов определяется из условия максимизации функционала качества

$$F_{\max} = \max_{i_1, \dots, i_n} F(i_1, \dots, i_n).$$

Если задача корректная, т. е. нет конфликтов, то этот метод дает точное решение поставленной задачи.

Рассмотрим конкретный пример задачи создания диспетчерской службы. Для наглядности, рассмотрим только четыре критерия:  $P_1$  — существующее состояние, т. е. задел;  $P_2$  — время, выделенное для построения диспетчерской системы;  $P_3$  — выделенные финансы;  $P_4$  — профессионалы, необходимые для создания системы. Для простоты вместо  $P_1, P_2, P_3$  и  $P_4$  будем записывать 1, 2, 3 и 4. Запишем матрицу парных оценок важности критериев (табл. 3).

Таблица 3

Таблица парных сравнений критериев по важности для задачи создания диспетчерской службы

Критерий	1	2	3	4
1	0	+3	+1	+3
2	-3	0	-3	0
3	-1	+3	0	+3
4	-3	0	-3	0

Вычислим функционал качества парных сравнений и определим, что максимальные функции качества относятся к последовательностям (1, 3, 2, 4) и (1, 3, 4, 2).

Таким образом, видим, что основным критерием является существующее состояние диспетчерской системы; следующим по важности критерием являются финансы, выделенные для разработки диспетчерской системы; время решения задачи и профессионалы, необходимые для ее решения, — критерии одного порядка.

Однако число вычислений в этом случае  $n!$ , поэтому этот алгоритм может быть применен для значений  $n$  порядка 10, при больших значениях  $n$  он требует слишком больших вычислительных ресурсов.

Опишем эвристический алгоритм построения линейной иерархии объектов, который может быть применен при любых реальных значениях  $n$ .

Алгоритм состоит в последовательном размещении объектов в соответствии с линейной иерархией.

**Шаг 1.** Сравниваются объекты  $P_1$  и  $P_2$  по парной функции предпочтения, например:  $P_2 \rightarrow P_1$ .

**Шаг 2.** Объект  $P_3$  сравнивается с первым объектом построенной иерархии, в данном случае с объектом  $P_2$ . Если объект  $P_3$  предпочтительней объекта  $P_2$ , то получаем:  $P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$ .

В противном случае в зависимости от сравнения объектов  $P_3$  и  $P_1$  могут быть следующие последовательности:  $P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3$ ,  $P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_1$ .

**Шаг 3.** Объект  $P_4$  сравнивается с первым объектом полученной последовательности и затем либо располагается на первом месте, либо, последовательно сравниваясь со следующими объектами, располагается в нужном месте.

Далее алгоритм аналогично продолжается до объекта  $P_n$ . Отметим, что если конфликтов нет, то получаем точ-

ное решение поставленной задачи. В общем случае из-за возможных конфликтов решение зависит от первоначальной последовательности расположения объектов. Число арифметических операций пропорционально  $n^2$ .

Данный алгоритм может быть использован совместно с вышеописанным алгоритмом минимизации функционала. Рассмотрим  $m$  различных первоначальных последовательностей расположения объектов. После применения вышеописанного эвристического алгоритма получим  $m$ , вообще говоря, различных линейных последовательностей объектов. Путем максимизации функции качества на данном множестве последовательностей выбираем наилучшую последовательность.

Таким образом, построен эффективный алгоритм ранжирования объектов по их значимости. То есть можно ранжировать критерии, как частный случай объектов, по степени важности.

Ранжированные критерии перенумеровываются по степени важности, так что  $P_{i1}$  будет наиболее важным критерием для  $i$ -й задачи. Степени важности критерия ставится в соответствие число  $r_{ij}$ , где  $0 < r_{ij} \leq 1$ .

Чтобы задача была согласованной, требуется чтобы

$$\sum_{j=1}^{n(i)} r_{ij} = 1,$$

где  $n(i)$  — число критериев для  $i$ -й задачи.

## 7. ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ ЗАДАЧИ

Каждому критерию для каждой задачи ставится в соответствие значение этого критерия,  $m_{ij}^k$  — оценка сложности  $j$ -го критерия  $k$ -м экспертом для  $i$ -й задачи.

Выбранные критерии связаны базовой шкалой с параметрами, имеющими четкий физический смысл, таким образом базовая шкала может связать цифровые параметры с лингвистическими переменными, на рисунке показан пример базовой шкалы.

1	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Очень много		Много		Немного		Мало	Совсем мало

### Базовая шкала связи цифровых и лингвистических переменных

Эти критериальные значения определяются затратами: временем, деньгами, людскими ресурсами и т. д.

## 8. СОГЛАСОВАНИЕ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Согласованное всеми экспертами значение критерия может быть представлено в виде:

$$m_{ij} = 1/10 \left[ 10 \frac{\sum_{k=1}^n m_{ij}^k}{n} + 0,5 \right], \text{ где } [\cdot] \text{ — целая часть числа.}$$



Таблица 4

Таблица критериальных значений задач антитеррористического мониторинга

Критерий	Задача			
	$A_1$	$A_2$	...	$A_l$
$P_1$	$m_{11}$	$m_{12}$	...	$m_{1l}$
$P_2$	$m_{21}$	$m_{22}$	...	$m_{2l}$
...	...	...	...	...
$P_n$	$m_{n1}$	$m_{n2}$	...	$m_{nl}$

Можно заполнить табл. 4, указывая оценку каждого критерия задачи АМ для единичного эксперта.

#### 9. РАНЖИРОВАНИЕ ЗАДАЧ АМ ПО ИХ КРИТЕРИЯМ С УЧЕТОМ ВАЖНОСТИ И СЛОЖНОСТИ ЗАДАЧ

Каждой задаче ставится в соответствие обобщенная характеристика сложности (трудности, тяжести решения)

$$M_i = \sum_{j=1}^{l_i} r_j m_{ij},$$

где  $l_i$  — число критериев для  $i$ -й задачи.

В результате этих действий мы установили обобщенную характеристику сложности задач. Теперь сортируем задачи АМ по увеличению  $M_i$ . Таким образом ранжируем задачи по степени сложности реализации, на основании чего эксперты могут установить приоритеты выполнения задач.

#### 10. РАНЖИРОВАНИЕ ПРОЕКТОВ ПО КРИТЕРИЯМ ВАЖНОСТИ И СЛОЖНОСТИ

Различные наборы задач образуют разные проекты. Для анализа и сравнения важности и сложности проектов можно применить описанные выше алгоритмы для задач, входящих в проекты. В результате получим ранжированные проекты, причем, ранжируя по различным критериям, можем определить ранги, принимая в качестве главных приоритетов оценки проектов:

- важность;
- сложность;
- риск;
- реализуемость.

Пусть  $\Pi_1, \dots, \Pi_M$  — возможный набор проектов, состоящих из определенного числа задач, часть из которых могут быть общими для разных проектов. Наша цель заключается в том, чтобы по критериям важности, сложности и реализуемости (риски и реализуемости проектов связаны между собой) выделить проект, который надлежит выполнить в первую очередь. Введем критерий предпочтения проекта  $Q_i, i = \overline{1, M}$ :

$$Q_i = \frac{V(\Pi_i)}{C(\Pi_i)} R(\Pi_i),$$

где  $V(\Pi_i), C(\Pi_i), R(\Pi_i)$  — соответственно, важность, сложность и реализуемость  $i$ -го проекта. Проект, кото-

рый надлежит выполнить в первую очередь, должен соответствовать максимуму в приведенном критерии, т. е.

$$Q_i = \max_{i=1, M} Q_i.$$

Каждый проект должен включать в себя тот или иной набор задач, причем для каждой задачи известны критерии сложности, важности и реализуемости. Основная проблема состоит в том, что функции важности (сложности, реализуемости) проектов не являются аддитивными функциями важностей (сложностей, реализуемостей) входящих в них задач. Например, пусть проект  $\Pi$  состоит из набора задач  $A_1, \dots, A_k$ , тогда, вообще говоря,

$$V(\Pi) \neq V(A_1) + \dots + V(A_k), \quad C(\Pi) \neq C(A_1) + \dots + C(A_k), \\ R(\Pi) \neq R(A_1) + \dots + R(A_k),$$

Равенство в приведенных формулах возможно для некоторых частных случаев, когда критериями являются стоимости, время и т. д. В общем случае можно сказать, что функция  $V(\Pi) \equiv V(V(A_1), \dots, V(A_k))$  является монотонно возрастающей функцией аргументов. Конкретный вид этих функций определяется, исходя из специфики входящих в проект задач.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанное согласование принятия решений по антитеррористическим действиям должно входить составной частью в информационно-программный комплекс обнаружения и ликвидации биологической чрезвычайной ситуации. Включение его в автоматизированную информационно-управляющую систему реагирования на биологическую чрезвычайную ситуацию позволит лицам, принимающим решения, а также членам экспертных групп обрабатывать на тренажере действия (сценарии), определять критерии, их важность и значения, ранжировать задачи по степени сложности и т. д., чтобы во время чрезвычайной ситуации принимать оптимальные решения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад МЧС России о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2002 г. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций: Информ. сб. / Под ред. Н. А. Махутова. — М.: ВИНТИ, 2003. — С. 3—186.
2. Противодействие биологическому терроризму. Практическое руководство по противоэпидемическому обеспечению / Под ред. Г. Г. Онищенко. — М.: 2003. — 311 с.
3. Матвеев А. А., Новиков Д. А., Цветков А. В. Модели и методы управления портфелями проектов. — М.: МПСОФТ, 2005. — 206 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 315 с.
5. Самохина А. С., Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка оценки потребностей в силах и средствах для осуществления антитеррористического мониторинга // Тр. II междунар. конф. «Параллельные вычисления и задачи управления» РАСО'2004 / Ин-т пробл. упр. — М., 2004.

e-mail: absamokhin@yandex.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии В. Л. Эшштейном. □