АНТИ-ТЕРРОРИЗМ: РАЗМЕЩЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ РЕСУРСОВ. ЧАСТЬ II. ВЕТВЯЩАЯСЯ СИСТЕМА

Игорь Ушаков
Сан-Диего, США

Часть II. Ветвящаяся система

Аннотация

Представлена концепция оптимального распределения защитных ресурсов против террористических атак. В предположении неопределенности намерений террористов предлагается минимаксный критерий. Предлагается целевая функция для проведения анализа типа «стоимость-эффективность». Данная работа является продолжением работы [*Ushakov*, 2006]

I. ВВЕДЕНИЕ

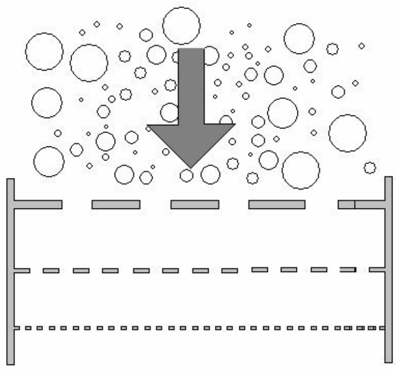
Защита страны от террористических атак не может быть успешно решена без проведения анализа типа «эффективность-стоимость», поскольку любые ресурсы в реальности оказываются ограниченными, что неизбежно приводит к задаче их рационального распределения. Основной проблемой, возникающей при математическом моделировании, является гигантская размерность задачи.

Однако сразу же заметим, что задача допускает декомпозицию и иерархическое построение модели. Вся система защищаемых объектов страны может быть представлена иерархической ветвящейся структурой с аддитивной глобальной целевой функцией. Предлагаемый метод базируется на [*Ushakov*, 2005; *Gnedenko & Ushakov*, 1995; *Ushakov*, 1994).

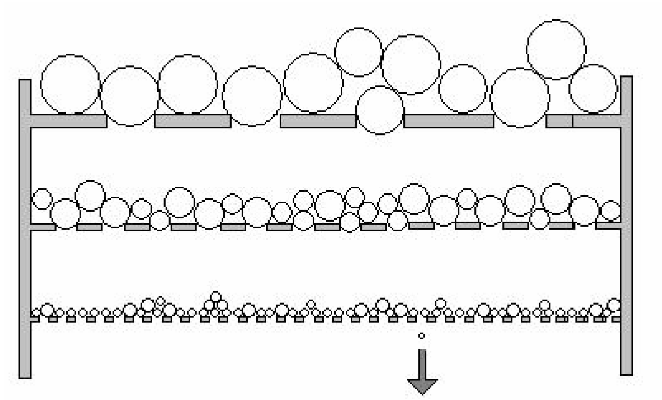
Предлагаемый метод предполагает использовать в качестве входных данных экспертные оценки специалистов по борьбе с терроризмом.

II. ОПИСАНИЕ УРОВНЕЙ ЗАЩИТЫ

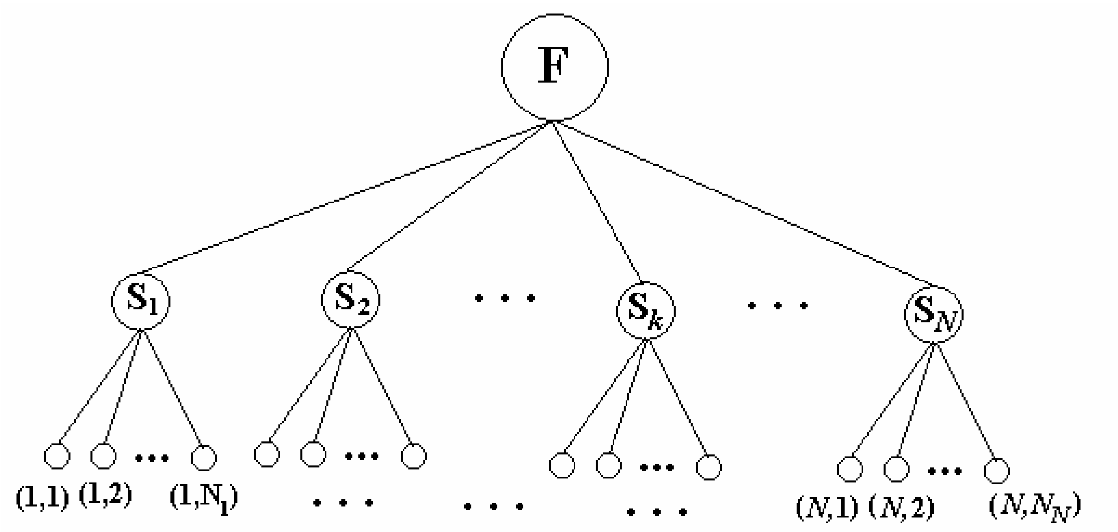
Как было подчеркнуто в Части I, анти-террористические меры могут быть разделены на три относительно независимых уровня, функционирование которых можно условно представить в виде трехуровневого «решета»: чем ниже уровень, тем выше его разрешающая способность».



После подобного просеивания шансы террористам проникнуть на третий уровень (непосредственные потенциальные объекты атаки) становится очень небольшой.



Достаточно адекватной математической структурой, описывающей подобный процесс, может служить так называемая «ветвящаяся система» [*Gnedenko & Ushakov*, 1995].



III. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

В целях удовства чтения , мы вкратце повторим обозначения приведенные в Части I:

F_i (φ_i) – субъективная вероятность того, что объект будет защищен против террористической атаки типа i при условии, что на государственном уровне будут затрачены ресурсы φ_i для предотвращения именно этого типа атаки. (Что данный тип защиты может и не быть применимым к каждому из защищаемых объектов. Например, повышенный контроль за покупкой-продажей химикалей, которые могут быть использованы для производства бомб, практически никак не связан с возможным захватом самолета гражданской авиалинии.);

$S_i^{(k)}$ ($\sigma_i^{(k)}$)	– субъективная вероятность того, что объект в регионе k будет защищен от атаки типа i при условии, что в данном регионе затрачено $\sigma_i^{(k)}$ ресурсов на защиту от данного типа атак;
(k, j)	– обозначение для объекта j в регионе k;
$L_i^{(k,j)}$ ($\lambda_i^{(k,j)}$)	– субъективная вероятность того, что объект (j, k) будет защищен от атаки типа i при условии, что именно на защиту данного объекта затрачены средства в объеме $\lambda_i^{(k,j)}$;
$W^{(k,j)}$	– “вес” (или “мера приоритета”) объекта (j, k);
$G_{k,j}$	– множество всех возможных террористических атак против объекта (k,j);
n_k	– общее число защищаемых объектов в регионе k;
N	- общее число регионов в стране.

IV. МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ С ВЕТВЯЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ

Как показано в [*Gnedenko & Ushakov*, 1995], если для каждого объекта нижнего уровня ветвящейся системы выбран индивидуальный показатель эффективности (или же обратной величины – ущерба), то полная эффективность системы может быть найдена, как сумма этих индивидуальных показателей. Это следует из одной из основных теорем теории вероятностей: математическое ожидание суммы случайных величин равно сумме математических ожиданий этих случайных величин, независимо от того, зависимы они или нет.

Действительно, введем так называемую индикаторную функцию типа:

$$\delta_{(k,j)} = \begin{cases} 1, \text{ если террористическая атака на объект } (k, j) \text{ совершена,} \\ 0, \text{ противном случае.} \end{cases}$$

Случайные потери для объекта (k, j) равны $\delta_{(k,j)} W^{(k,j)}$, и полное значение случайных потерь равно

$$\sum_{k=1}^{N}\sum_{j=1}^{n_k}\delta_{(k,j)}W^{(k,j)}$$

Математическое ожидание суммы случайных величин определяется как

$w_{\text{Total}}\ \{F_i, \forall i; S_i^{(k)}, 1 \le k \le N; L_i^{(k,j)}, 1 \le j \le n_k\}=$

$$E\left\{\sum_{k=1}^{N}\sum_{j=1}^{Nk}\delta_{(k,j)}W^{(k,j)}\right\} = \sum_{k=1}^{N}\sum_{j=1}^{Nk}E\{\delta_{(k,j)}\}W^{(k,j)} = \sum_{k=1}^{N}\sum_{j=1}^{Nk}\left(1-P^{(k,j)}\right)W^{(k,j)} = \sum_{k=1}^{N}\sum_{j=1}^{Nk}w^{(k,j)} \qquad (1)$$

где $P^{(k,j)} = 1-(1-F^{(k,j)}) \cdot (1-S^{(k,j)}) \cdot (1-L^{(k,j)})$, и, в свою очередь, эти величины определяются как

$F^{(k,j)} = \min\{F_i,\ i \in G_{k,j}\}$; $S^{(k,j)} = \min\{S_i,\ i \in G_{k,j}\}$; $L^{(k,j)} = \min\{L_i\}$.

Иными словами, формула (1) дает нам полное значение средних потерь с учетом «весов» объектов.

В то же время, нетрудно вычислить и полные затраты, C_{Total}, связанные с защитными мерами на всех уровнях:

$$C_{\text{Total}}\ \{\varphi_i,\ \forall i;\ \sigma_i^{(k)},\ 1 \le k \le N;\ \lambda_i^{(k,j)},\ 1 \le j \le n_k\} = \sum_{\forall i}\varphi_i + \sum_{\forall i}\sum_{k=1}^{N}\sigma_i^{(k)} + \sum_{\forall i}\sum_{k=1}^{N}\sum_{i=1}^{n_k}\lambda_i^{(k,j)} \qquad (2)$$

Имея целевые функции (1) и (2), можно сформулировать две следующих оптимизационных задачи:

Прямая задача:

Оптимально разместить все имеющиеся ресурсы, чтобы гарантировать МИНИМАЛЬНО возможный ожидаемый ущерб от террористических атак, т.е.

$$\min\{w_{\text{Total}} \mid C_{\text{Total}}\}$$

Обратная задача:

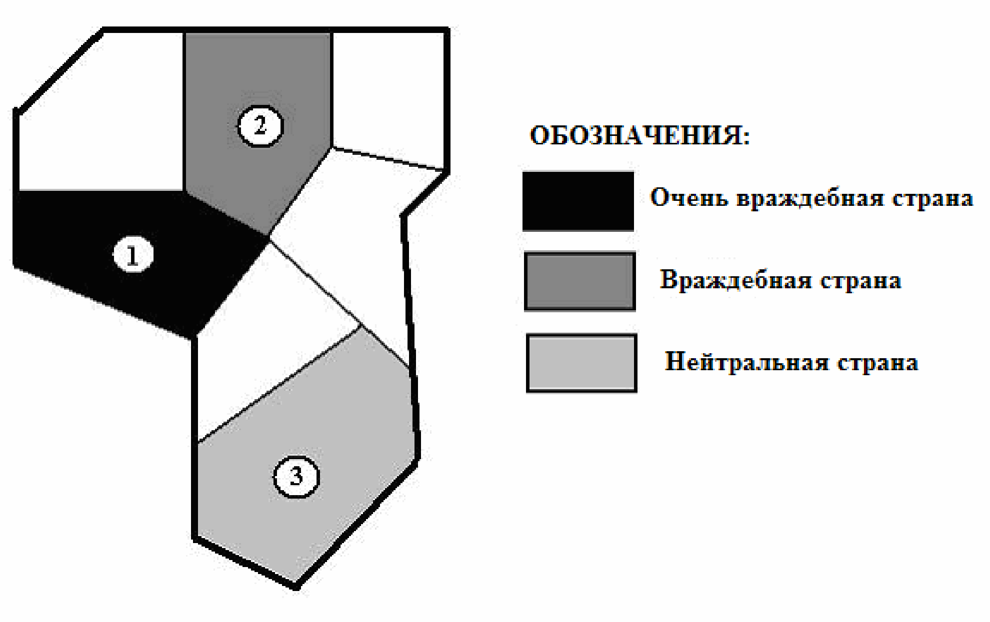
Оптимально разместить все имеющиеся ресурсы, чтобы гарантировать допустимый уровень ожидаемых потерь от террористических атак защищаемых объектов при МИНИМАЛЬНО возможных суммарных затратах, т.е.

$$\min\{C_{\text{Total}} \mid w_{\text{Total}}\}$$

Решение этих проблем с помощью метода наискорейшего спуска демонстрируется ниже на простом иллюстративном примере с вымышленными данными.

V. ПРИМЕР: ЗАЩИТА ПОСОЛЬСТВА

Пусть имеются три посольства в некоторой географической зоне. Посольства характеризуются различными показателями приоритетности («весами») и размещены в странах, характеризующихся различным к отношениям к их стране. Проблема состоит в защите этих посольств от возможных террористических атак. Допустим, что заданы некоторые доступные ресурсы (финансового характера, вооруженная охрана, средства защиты и пр.). Вопрос стоит о том, как наилучшим образом разместить имеющиеся средства для защиты всех посольств одновременно?



Допустим, что эксперт по анти-терроризму сообщил следующие характеристики о трех рассматриваемых посольствах:

Посольство-1:
«Коэффициент важности» (приоритет) = 10; степень защищенности без специальных мероприятий $P_1^{(0)}$ =0.5.

Защищенность	0.9	0.95	0.97	0.99
Затраты (в усл. ед.)	2	4	7	12

Посольство-2:
«Коэффициент важности» (приоритет) = 3; степень защищенности без специальных мероприятий $P_2^{(0)}$=0.8.

Защищенность	0.9	0.95	0.97	0.99
Затраты (в усл. ед.)	1	2	4	8

Посольство-3:
«Коэффициент важности» (приоритет) = 7; степень защищенности без специальных мероприятий $P_3^{(0)}$ =0.9.

Защищенность	0.9	0.95	0.97	0.99
Затраты (в усл. ед.)	0.5	1	2	5

«Коэффициент важности» посольства может зависеть от размера посольства (числа сотрудников) и от политической важности.

<u>Решение:</u>

Вычислим «дискретные градиенты» (относительные приращения защищенности на единицу затрат) для каждого посольства k по формуле:

$$\gamma_k^{(s)} = W_k \frac{P_k^{(s)} - P_k^{(s-1)}}{C_k^{(s)} - C_k^{(s-1)}},$$

где W_k = «коэффициент важности» посольства k,

$P_k^{(s)}$ = уровень безопасности на шаге s процесса повышения защищенности данного посольства,

$C_k^{(s)}$ = затраты, связанные с достижением уровня защищенности на шаге s.

Построим следующую таблицу для нахождения оптимального размещения ресурсов для защиты всех трех посольств от возможных террористических атак.

№ шага	Значение «градиента» на каждом шагу		
	Посольство-1	**Посольство -2**	**Посольство -3**
1	$10 \cdot \frac{0.9 - 0.5}{2} = 2$	$3 \cdot \frac{0.9 - 0.8}{1} = 0.3$	$7 \cdot \frac{0.95 - 0.9}{1} = 0.35$
2	$10 \cdot \frac{0.95 - 0.9}{4 - 2} = 0.25$	$3 \cdot \frac{0.95 - 0.9}{2 - 1} = 0.15$	$7 \cdot \frac{0.97 - 0.95}{2 - 1} = 0.14$
3	$10 \cdot \frac{0.97 - 0.95}{7 - 4} = 0.067$	$3 \cdot \frac{0.97 - 0.95}{4 - 2} = 0.03$	$7 \cdot \frac{0.99 - 0.97}{5 - 3} = 0.07$
4	$10 \cdot \frac{0.99 - 0.97}{12 - 7} = 0.004$	$3 \cdot \frac{0.99 - 0.97}{8 - 4} = 0.0015$	*

Now number all cells of the Table by their decreasing:

№ шага	Нумерация «градиентов» по убыванию		
	Посольство-1	**Посольство -2**	**Посольство -3**
1	1	3	2
2	4	5	6
3	8	9	7
4	10	11	*

Приведенные в этой таблице номера показывают, в каком порядке наиболее рационально повышать защищенность посольств. Окончатльные результаты приведены ниже.

Начальные потери от атак на все три посольства равны
$w^{(0)} = W_1 \cdot (1 - P_1^{(0)}) + W_2 \cdot (1 - P_1^{(0)}) + W_3 \cdot (1 - P_1^{(0)}) = \cdot 10 \cdot 0.5 + 3 \cdot 0.2 + 7 \cdot 0.1 = 3.8.$

(10) После 1-го шага (улучшается защита только Посольств-1, у которого наибольшее значение относительного приращения функции защищенности) суммарные потери равны
$w^{(1)}_{Total} = W_1 \cdot (1 - P_1^{(1)}) + W_2 \cdot (1 - P_1^{(0)}) + W_3 \cdot (1 - P_1^{(0)}) = \cdot 10 \cdot 0.1 + 3 \cdot 0.2 + 7 \cdot 0.1 = 1.8,$
а затраченные ресурсы составляют $C^{(1)} = 2$ единицы.

(11) После 2-го шага суммарные потери равны
$w^{(2)}_{Total} = W_1 \cdot (1 - P_1^{(1)}) + W_2 \cdot (1 - P_1^{(1)}) + W_3 \cdot (1 - P_1^{(0)}) = \cdot 10 \cdot 0.1 + 3 \cdot 0.1 + 7 \cdot 0.1 = 1.5$
а затраченные ресурсы составляют $C^{(2)} = 2 + 1 = 3$.

(12) После 3-го шага суммарные потери равны
$w^{(3)}_{Total} = W_1 \cdot (1 - P_1^{(1)}) + W_2 \cdot (1 - P_1^{(1)}) + W_3 \cdot (1 - P_1^{(1)}) = \cdot 10 \cdot 0.1 + 3 \cdot 0.1 + 7 \cdot 0.05 = 1.15$

а затраченные ресурсы составляют $C^{(3)} = 2 + 1 + 1 = 4$.

(13) После 4-го шага суммарные потери равны

$w^{(4)}{}_{Total} = W_1 \cdot (1 - P_1{}^{(2)}) + W_2 \cdot (1 - P_1{}^{(1)}) + W_3 \cdot (1 - P_1{}^{(1)}) = \cdot 10 \cdot 0.05 + 3 \cdot 0.1 + 7 \cdot 0.05 = 0.9$

а затраченные ресурсы составляют $C^{(4)} = 2 + 1 + 1 + 2 = 6$.

(14) После 5-го шага суммарные потери равны

$w^{(5)}{}_{Total} = W_1 \cdot (1 - P_1{}^{(2)}) + W_2 \cdot (1 - P_1{}^{(2)}) + W_3 \cdot (1 - P_1{}^{(1)}) = \cdot 10 \cdot 0.05 + 3 \cdot 0.05 + 7 \cdot 0.05 = 0.75$

а затраченные ресурсы составляют $C^{(5)} = 2 + 1 + 1 + 2 + 1 = 7$.

(15) После 6-го шага суммарные потери равны

$w^{(6)}{}_{Total} = W_1 \cdot (1 - P_1{}^{(2)}) + W_2 \cdot (1 - P_1{}^{(2)}) + W_3 \cdot (1 - P_1{}^{(2)}) = \cdot 10 \cdot 0.05 + 3 \cdot 0.05 + 7 \cdot 0.03 = 0.61$

а затраченные ресурсы составляют $C^{(6)} = 2 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 = 8$.

(16) После 7-го шага суммарные потери равны

$w^{(7)}{}_{Total} = W_1 \cdot (1 - P_1{}^{(2)}) + W_2 \cdot (1 - P_1{}^{(2)}) + W_3 \cdot (1 - P_1{}^{(3)}) = \cdot 10 \cdot 0.05 + 3 \cdot 0.05 + 7 \cdot 0.01 = 0.47$

а затраченные ресурсы составляют $C^{(7)} = 2 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 + 2 = 10$.

(17) После 8-го шага суммарные потери равны

$w^{(8)}{}_{Total} = W_1 \cdot (1 - P_1{}^{(3)}) + W_2 \cdot (1 - P_1{}^{(2)}) + W_3 \cdot (1 - P_1{}^{(3)}) = \cdot 10 \cdot 0.03 + 3 \cdot 0.05 + 7 \cdot 0.01 = 0.37$

а затраченные ресурсы составляют $C^{(8)} = 2 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 + 2 + 3 = 13$.

(18) После 9-го шага суммарные потери равны

$w^{(9)}{}_{Total} = W_1 \cdot (1 - P_1{}^{(3)}) + W_2 \cdot (1 - P_1{}^{(3)}) + W_3 \cdot (1 - P_1{}^{(3)}) = \cdot 10 \cdot 0.03 + 3 \cdot 0.03 + 7 \cdot 0.01 = 0.31$

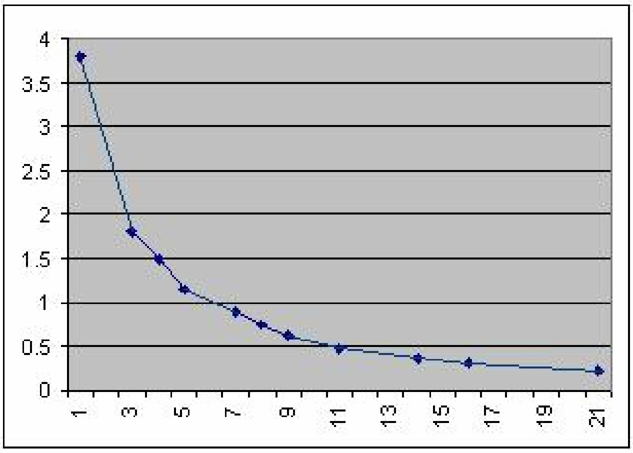
а затраченные ресурсы составляют $C^{(9)} = 2 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 + 2 + 3 + 2 = 15$.

(10) После 10-го шага суммарные потери равны

$w^{(10)}{}_{Total} = W_1 \cdot (1 - P_1{}^{(3)}) + W_2 \cdot (1 - P_1{}^{(3)}) + W_3 \cdot (1 - P_1{}^{(3)}) = \cdot 10 \cdot 0.01 + 3 \cdot 0.03 + 7 \cdot 0.01 = 0.21$

а затраченные ресурсы составляют $C^{(10)} = 2 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 + 2 + 3 + 2 + 5 = 20$.

Процесс построения зависимости эффективность-затраты может быь продолжен. Графическое представление этой функции приведено ниже.



Заключение

Данный метод может быть использован для планирования мероприятий по улучшению защиты объектов против террористических атак, оценки эффективности этой защиты и для оптимального (рационального) распределения затрат на защиту объектов. Некоторые идеи такого рода были использованы при моделировании живучести Единой Энергетической системы СССР [*Rudenko & Ushakov*, 1979; *Kozlov et al*., 1986; *Rudenko & Ushakov*, 1989].

Дальнейшее развитие предложенного метода и анализ различных сценариев анти-террористической борьбы может дать большой эффект. Данный метод легко позволяет включать новые факторы, новые сценарии, а работа в режиме “what-if” позволит найти плюсы и минусы различных стратегий защиты от террористических атак и борьбы с терроризмом с учетом возможностей потенциальных врагов.

Литература

I. Ushakov. “Counter-terrorism: Protection Resources Allocation. Part I. Minimax Criterion”. “Reliability: Theory and Practice” (vol.1, No.2), 2006.

I. Ushakov. “Cost-effective approach to counter-terrorism”. Int’l Journal *Communication in Dependability and Quality Management* (vol.8, No.3),2005.

B. Gnedenko, I. Ushakov “Probabilistic Reliability Engineering”. *John Wiley & Sons, Inc., New York*, 1995.

И.А Ушаков (редакор). Надежность технических систем: Справочник. (Раздел 8,7 «Живучесть сложных систем»). *Радио и связь, Москва,* 1985.

Ю.Н. Руденко, И.А. Ушаков. Надежность систем энергетики. (Под ред. Б.В. Гнеденко.) *Наука, Новосибирск*, 1989.

М.В. Козлов, Ю.Е. Малашенко, В.С. Рогожин, И.А. Ушаков, Т.В. Ушакова. «Моделирование живучести систем энергетики: методология, модель, реализация”. *Вычислительный Центр АН СССР, Москва,* 1986.

Ю.Н. Руденко, И.А. Ушаков. “К вопросу оценки живучести сложных систем энергетики”. *Изв. АН СССР, серия Энергетика и транспорт, №1*, 1979.