


Бочков А.В., Ушаков И.А.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ АТАК НА ОСНОВЕ СУБЪЕКТИВНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Исследован на устойчивость алгоритм решения задачи распределения ресурсов, предназначенных для защиты объектов критической инфраструктуры от террористических атак на основе субъективных экспертных оценок. Выполнено сравнение результата для разного типа оценок (оптимистические, умеренные, пессимистические). Подобный анализ дает возможность установить, какие меры следует предпринять для каждого требуемого уровня защиты (или допустимого уровня уязвимости) и, выделенных на эти мероприятия, ограниченных, как правило, ресурсов.

Ключевые слова: *критическая инфраструктура, защита, оптимизация, распределение ресурсов, экспертные оценки.*

1. Введение

Решение задачи оптимального распределения ресурсов, предназначенных на обеспечение мер защиты объектов критической инфраструктуры от возможных атак террористов, естественным образом основано на субъективных оценках, сделанных экспертами в данной области. В этом случае использование оценок экспертов неизбежно: не существует никакой другой возможности получить исходные данные для системного анализа живучести объектов. Нет такого явления как «сбор реальных данных», кроме того, нет никаких «однородных образцов» для последовательного статистического анализа наблюдений, так как любой случай уникальный и невоспроизводимый. Однако количественный анализ необходимого уровня защиты должен быть выполнен.

Каковы пункты, необходимые для проведения такой экспертизы? На наш взгляд, они включают в себя следующее:

- возможность террористических атак на некоторый объект или группу объектов;
- возможное время такого нападения;
- ожидаемые последствия нападения и возможные потери;
- возможная мера защиты и связанные с этим расходы.

Так как экспертные оценки таких сложных явлений, как правило, нечеткие из-за недостаточного взаимопонимания в группе экспертов в отношении тех же самых действий и противодействий, возникает вопрос: возможно ли вообще сделать какой-либо разумный прогноз и, кроме того, сказать об «оптимальном распределении ресурсов защиты»?

Прежде всего, мы должны подчеркнуть, что понятие «оптимального решения» имеет отношение только к математическим моделям. На практике, ненадёжные (и даже непоследовательные) данные и неизбежная погрешность модели (то есть различие между моделью и действительностью) позволяют нам говорить только о «рациональных решениях» рассматриваемой задачи.

Однако, поскольку проблема существует, в любом конкретном случае она должна быть решена с использованием математической модели или без таковой. Наша цель состоит в том, чтобы проанализировать стабильность решений оптимального распределения ресурсов в рамках нечетких оценок экспертов.

2. Анализ стабильности решения

Во-первых, проанализируем, как изменение оценки расходов влияет на решение проблемы на уровне единственного объекта, который нужно защитить от возможной террористической атаки. Для прозрачности объяснения мы не будем рассматривать влияние защиты на федеральных и государственных уровнях.

Рассмотрим некоторый условный объект (Объект-1), который может быть объектом террористической атаки. Предполагается, что может быть три различных типа действий врага (Действие-1, Действие-2 и Действие-3). Защищающаяся сторона может выбрать несколько определенных мер защиты против каждого типа действия $\{M(i, j)\}$, где i соответствует типу действия стороны нападения, а j, соответственно, соответствует типу предпринятой защитной меры.

Предположим, что у нас есть три варианта оценок затрат на защиту: нижний, средний и высокий, как это представлено в таблицах 1-3. Более низкие оценки приблизительно на 20 % ниже соответствующих средних оценок, а высокие оценки также приблизительно на 20 % выше.

Существуют три группы экспертных оценок: «оптимистичный», «умеренный» и «пессимистичный». Первая предполагает, что успех в каждой ситуации может быть достигнут низкими расходами на защитные меры; последняя группа требует больших расходов для защиты в той же самой ситуации, а средняя группа дает средние показатели.

Как интерпретировать приведенные в таблицах 1-3 оценки?

Рассмотрим возможность Действия-1 против объекта. При полном отсутствии защиты уязвимость объекта равна 1 (или 100 %). Если мы потратили $\Delta E = 0.8$ условных единиц стоимости защиты (УЕСЗ) и предприняли меру $M(1, 1)$, уязвимость объекта уменьшится до 0,25. Если нас не удовлетворяет такой уровень защиты, применяется следующая защитная мера $M(1, 2)$, что приводит к уменьшению уязвимости объекта от 0,25 до 0,3 и стоит, соответственно, 2 УЕСЗ.

Теперь рассмотрим действия всех трех возможных террористических атак. Заранее никто не знает, какое действие будет предпринято против конкретного объекта защиты. В этой ситуации самая разумная стратегия обеспечивает равные уровни защиты против всех продуманных типов террористических атак, например, как это было предложено в [1, 3]. Это означает, что, если нужно гарантировать уровень защиты, приравненный к γ, тогда нужно рассматривать только такие меры против каждого действия, которые обеспечивают уровень уязвимости не меньше, чем γ. Например, в рассматриваемом случае, если необходимый уровень уязвимости должен был быть не выше, чем 0.1, нужно использовать одновременно следующие меры защиты от возможных террористических атак: $M(1, 3)$, $M(2, 3)$ и $M(3, 4)$.

Метод равной защиты от различных типов враждебных действий, кажется довольно естественным. Имея дело с природными или другими непреднамеренными воздействиями, можно говорить о субъективных вероятностях воздействий некоторого особого типа, однако, в случае намеренного нападения хорошо информированного и подготовленного противника, такой подход не подходит. Факт состоит в том, что, как только противник узнает о ваших предположениях о его возможных дей-

Таблица 1.
Случай оптимистичных оценок

ОБЪЕКТ-1		γ_1	C
Действие-1	M(1, 1)	0.25	0.8
	M(1, 2)	0.2	2
	M(1, 3)	0.1	2.5
	M(1, 4)	0.01	3.8
Действие -2	M(2, 1)	0.2	1.6
	M(2, 2)	0.16	2.8
	M(2, 3)	0.07	3.2
	M(2, 4)	0.02	5.6
Действие -3	M(3, 1)	0.11	0.4
	M(3, 2)	0.1	2
	M(3, 3)	0.05	2.4
	M(3, 4)	0.04	3.6
	M(3, 5)	0.01	5.6

Таблица 2.
Случай умеренных оценок

ОБЪЕКТ -1		γ_2	C
Действие -1	M(1, 1)	0.25	1
	M(1, 2)	0.2	2.5
	M(1, 3)	0.1	3
	M(1, 4)	0.01	4
Действие -2	M(2, 1)	0.2	2
	M(2, 2)	0.16	3
	M(2, 3)	0.07	4
	M(2, 4)	0.02	7
Действие -3	M(3, 1)	0.11	0.5
	M(3, 2)	0.1	2.5
	M(3, 3)	0.05	3
	M(3, 4)	0.04	5
	M(3, 5)	0.01	7

Таблица 3.
Случай пессимистичных оценок

ОБЪЕКТ -1		γ_3	C
Действие -1	M(1, 1)	0.25	1.2
	M(1, 2)	0.2	3
	M(1, 3)	0.1	6
	M(1, 4)	0.01	7.8
Действие -2	M(2, 1)	0.2	2.4
	M(2, 2)	0.16	3.2
	M(2, 3)	0.07	4.8
	M(2, 4)	0.02	8.4
Действие -3	M(3, 1)	0.11	2
	M(3, 2)	0.1	3
	M(3, 3)	0.05	3.6
	M(3, 4)	0.04	6
	M(3, 5)	0.01	8.4

Таблица 4. Случай оптимистичных оценок

Объект 1			
Порядковый номер	**Предпринимаемые меры**	**Итоговый $\gamma_{объект}$**	**Суммарные расходы, $C_{объект}$**
1	M(1, 1), M(2, 1), M(3, 1)	max {0.25, 0.2, 0.11}=0.25	0.8+1.6+0.4=2.8
2	M(1, 2), M(2, 1), M(3, 1)	max {0.2, 0.2, 0.11}=0.2	2+1.6+0.4=4
3	M(1, 3), M(2, 2), M(3, 1)	max {0.1, 0.16, 0.11}=0.16	2.5+2.8+0.4=5.7
4	M(1, 3), M(2, 3), M(3, 1)	max {0.1, 0.07, 0.11}=0.11	2.5+3.2+0.4=6.1
5	M(1, 3), M(2, 3), M(3, 2)	max {0.1, 0.07, 0.1}=0.1	2.5+3.2+2=7.7
6	M(1, 4), M(2, 3), M(3, 3)	max {0.01, 0.07, 0.05}=0.07	3.8+3.2+2.4=9.4
7	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 3)	max {0.01, 0.02, 0.05}=0.05	3.8+5.6+2.4=11.8
8	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 4)	max {0.01, 0.02, 0.04}=0.04	3.8+5.6+3.6=13
9	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 5)	max {0.01, 0.02, 0.01}=0.02	3.8+5.6+5.6=15

Таблица 5. Случай умеренных оценок

Объект 1			
Порядковый номер	**Предпринимаемые меры**	**Итоговый $\gamma_{объект}$**	**Суммарные расходы, $C_{объект}$**
1	M(1, 1), M(2, 1), M(3, 1)	max {0.25, 0.2, 0.11}=0.25	1+2+0.5=3.5
2	M(1, 2), M(2, 1), M(3, 1)	max {0.2, 0.2, 0.11}=0.2	2.5+2+0.5=5
3	M(1, 3), M(2, 2), M(3, 1)	max {0.1, 0.16, 0.11}=0.16	3+3+0.5=6.5
4	M(1, 3), M(2, 3), M(3, 1)	max {0.1, 0.07, 0.11}=0.11	3+4+0.5=7.5
5	M(1, 3), M(2, 3), M(3, 2)	max {0.1, 0.07, 0.1}=0.1	3+4+2.5=9.5
6	M(1, 4), M(2, 3), M(3, 3)	max {0.01, 0.07, 0.05}=0.07	4+4+3=11
7	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 3)	max {0.01, 0.02, 0.05}=0.05	4+7+3=14
8	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 4)	max {0.01, 0.02, 0.04}=0.04	4+7+5=16
9	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 5)	max {0.01, 0.02, 0.01}=0.02	4+7+7=18

ствиях, он использует это знание в своих интересах и выберет действие, которое вы ожидаете меньше всего.

В рассмотренном выше примере, если выбраны меры $M(1, 2)$ с γ_1=0.2, $M(2, 3)$ с γ_2=0.07 и $M(3, 4)$ с γ_3=0.04, гарантированный уровень защиты объекта равен

$\gamma_{объект} = \max(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) = \max (0.2; 0.07; 0.04) = 0.2.$

Для выбора требуемого (или необходимого) уровня защиты объекта можно составить функцию, отражающую зависимость уязвимости от стоимости защиты.

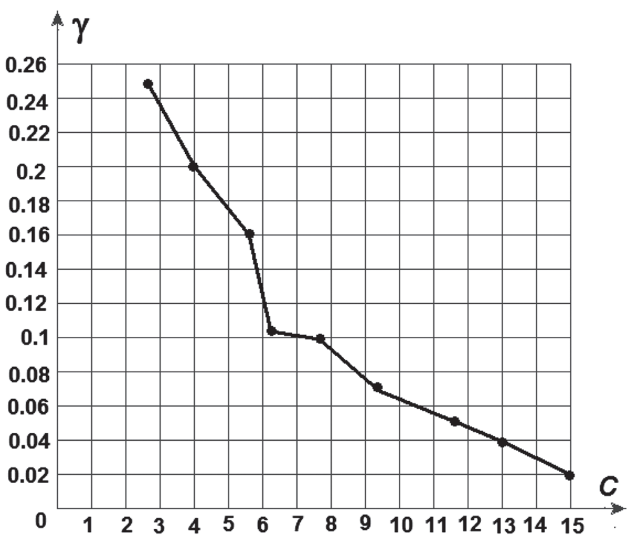

Рис. 1. Зависимость уязвимости объекта от затрат на меры защиты (для случая «оптимистичных» оценок)

График этой функции изображен на рис. 1.

Приведем для справки численные результаты расчетов для случаев «умеренных» и «пессимистичных» оценок без подробных разъяснений.

Данные табл. 5 представлены, соответственно, на рис. 2.

Подобный анализ дает возможность установить, какие меры следует предпринять для каждого требуемого уровня защиты (или допустимого уровня уязвимости) и данных ограниченных, как правило, ресурсов.

Рис. 2. Зависимость уязвимости объекта от затрат на меры защиты (для случая «умеренных» оценок)

Таблица 6. Случай пессимистичных оценок

Объект 1			
Порядковый номер	Предпринимаемые меры	Итоговый $\gamma_{объект}$	Суммарные расходы, $C_{объект}$
1	M(1, 1), M(2, 1), M(3, 1)	max {0.25, 0.2, 0.11}=0.25	1.2+2.4+2=5.6
2	M(1, 2), M(2, 1), M(3, 1)	max {0.2, 0.2, 0.11}=0.2	3+2.4+2=7.4
3	M(1, 3), M(2, 2), M(3, 1)	max {0.1, 0.16, 0.11}=0.16	3+3.2+2=8.2
4	M(1, 3), M(2, 3), M(3, 1)	max {0.1, 0.07, 0.11}=0.11	3+4.8+2=9.8
5	M(1, 3), M(2, 3), M(3, 2)	max {0.1, 0.07, 0.1}=0.1	3+4.8+3=10.8
6	M(1, 4), M(2, 3), M(3, 3)	max {0.01, 0.07, 0.05}=0.07	4+4.8+3.6=12.4
7	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 3)	max {0.01, 0.02, 0.05}=0.05	4+8.4+3.6=16
8	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 4)	max {0.01, 0.02, 0.04}=0.04	4+8.4+6=18.4
9	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 5)	max {0.01, 0.02, 0.01}=0.02	4+8.4+8.4=20.8

Рис. 3. Зависимость уязвимости объекта от затрат на меры защиты (для случая «пессимистичных» оценок)

Конечная «кривая» зависимости «Расходы в сравнении с уязвимостью» представлена ниже, на рис. 4.

Однако, лица, принимающие решения, интересуются главным образом правильностью предпринятых мер, а не различием в абсолютных величинах предполагаемых затрат на защиту объекта. Другими словами, он интересуется тем, как, например, решение, принятое для оптимистического сценария, будет состоятельно в случае, если фактическая ситуация окажется лучше, чем это было описано в «пессимистическом» сценарии.

Таблица 7. Сравнение решений трех типов сценариев

Тип сценария	Предпринимаемые меры защиты	
	$\gamma_{объект} \le 0.1$	$\gamma_{объект} \le 0.02$
Оптимистичный	M(1, 3), M(2, 3), M(3, 2)	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 5)
Умеренный	M(1, 3), M(2, 3), M(3, 2)	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 5)
Пессимистичный	M(1, 3), M(2, 3), M(3, 2)	M(1, 4), M(2, 4), M(3, 5)

Используя вышеприведенные таблицы, рассмотрим два решения прямой задачи с требуемыми уровнями уязвимости 0.1 и 0.02.

Очевидно, что, если цель состоит в том, чтобы достигнуть некоторого данного уровня уязвимости вектор решения (то есть ряд предпринятых мер для того, чтобы защитить объект от террористических атак) в рамках рассматриваемых условий будет тем же самым, хотя приведет к альтернативным расходам.

Сравнение решений для требуемого уровня уязвимости объекта не выше, чем 0.1 и не выше, чем 0.02 приведено в табл. 7.

Как видно, решения для всех трех сценариев совпадают для обоих уровней защиты объекта! Конечно, подобная ситуация происходит не всегда, однако, следует подчеркнуть, что векторы решения для минимаксного критерия $\gamma_{объект} = \max(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$ намного более стабильны, чем вектор для вероятного критерия $1-\gamma_{объект} = 1 - \prod_{1 \le k \le n} (1-\gamma_k)$.

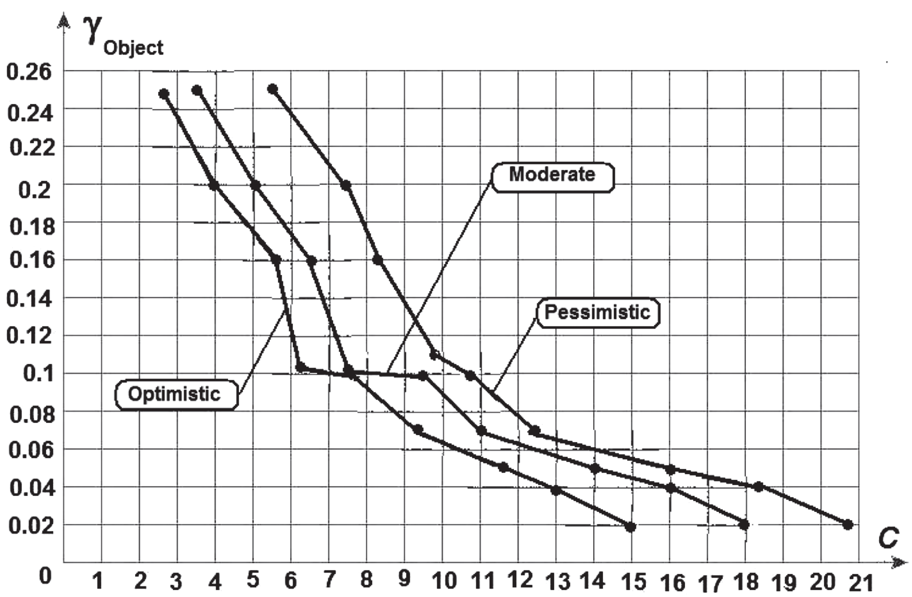

Рис. 4. Сравнение решений для трех типов оценок

3. Вывод

Представленный выше анализ показывает, что предлагаемая модель оптимального распределения ресурсов, предназначенных для защиты объектов критической инфраструктуры от возможных атак террористов, работает достаточно устойчиво. Более подробно, задача исследования устойчивости решения рассмотрена в [2].

Вычислительные эксперименты, выполненные с помощью полноценной компьютерной модели позволит анализировать более реалистические ситуации, включая случайную нестабильность исходных данных. Однако, представляется, что такие «односторонне основанные» экспертные оценки могут приводить к более серьезным ошибкам, чем случайные изменения параметров.

Литература

1. **Ushakov I.A.** Counter-terrorism: Protection Resources Allocation. Part I. Minimax Criterion // Reliability: Theory & Applications , No.2, 2006. P. 71-78.

2. **Bochkov A.V., Ushakov I.A**. Sensitivity analysis of optimal counter-terrorism resources allocation under subjective expert estimates // Reliability: Theory & Applications, No. 2, 2007. P. 78-85.

3. **Ushakov I.A** Counter-terrorism: Protection Resources Allocation. Part III. Fictional "Case Study" // Reliability: Theory & Applications, No.1, 2007. P. 50-59.