

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ВОЙСК НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное казенное учреждение
«Научно-исследовательский центр «Охрана»
Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации**



**О НЕКОТОРЫХ ПОДХОДАХ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ
ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА
ПОСТРОЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПО НАЗНАЧЕНИЮ
СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Доклад
старшего научного сотрудника,
кандидата технических наук
Вадима Александровича Гапоненко**

ЗАДАЧА ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

ДАНО:

1. Характеристики объекта, подлежащего охране – $O = \{o_l\}, l = 1, 2, \dots, n_o$, где $n_o \in N, n_o = |N|, N$ – множество натуральных чисел, $|N|$ – мощность множества N .
2. Климатические и другие условия места расположения объекта, влияющих на функционирование ИТСО – $V = \{v_d\}, d = 1, 2, \dots, n_v$, где $n_v \in N, n_v = |N|$.
3. Множество типов нарушителей – $X = \{x_j\}, j = 1, 2, \dots, n_x$, где $n_x \in N, n_x = |N|$.
4. Универсальное множество ИТСО – $A = \{a_i\}, i = 1, 2, \dots, n_A$, где $n_A \in N, n_A = |N|$.
5. Множество подразделений охраны – $G = \{g_i\}, i = 1, 2, \dots, n_G$, где $n_G \in N, n_G = |N|$.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ:

1. Выбор оптимального варианта из некоторого множества вариантов систем безопасности (СБ), сформированного лицом, принимающим решение (ЛПР).
2. Синтез оптимального варианта системы безопасности.

ПЕРВЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Для решения в общем виде задачи поиска оптимального варианта СБ первым методом в распоряжении ЛПР должны быть:

1. Отображение $f_{A \rightarrow M}$ универсального множества A в некоторое множество вариантов ИК ТСО $M = \{m_i\}, i = 1, 2, \dots, n_M$, где $n_M \in N, n_M = |N|$.

2. Правило назначения каждому $m_n \in M$ некоторого подразделения охраны из множества $G = \{g_i\}, i = 1, 2, \dots, n_G$, где $n_G \in N, n_G = |N|$,

которое является отображением $f_{M \rightarrow S}$ множества M в множество вариантов СБ $S = \{s_i\}, i = 1, 2, \dots, n_S$, где $n_S \in N, n_S = |N|$.

3. Правило принятия (выбора) решения, которое задается отображением χ , позволяющим найти решение задачи поиска оптимального варианта СБ $s_c^* = \chi(S)$ на множестве $S = \{s_i\}$, которые противодействуют любому $x_j \in X$ типу нарушителей, как по отдельности, так и в совокупности.

ВТОРОЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Для решения в общем виде задачи поиска оптимального варианта СБ вторым методом в распоряжении ЛПР должны быть:

1. Отображение $f_{A \rightarrow m^*}$ универсального множества A в некоторый оптимальный вариант ИК ТСО $m^* \in M$.
2. Правило назначения $m^* \in M$ некоторого подразделения охраны $g^* \in G$, которое является отображением $f_{m^* \rightarrow s_s^*}$ варианта ИК ТСО $m^* \in M$ в вариант СБ $s_s^* \in S$, который является результатом синтеза оптимального варианта СБ, обеспечивающего защиту охраняемого объекта от всех x_j типов нарушителей, включенных в множество X

Стоимость системы безопасности – ресурсное ограничение при решении задачи поиска оптимальных вариантов СБ и характеризует затраты на создание и эксплуатацию системы конкретного объекта

$$C = C_{\text{соз}} + C_{\text{эксп}},$$
$$C_{\text{соз}} = C_{\text{НИОКР}} + C_{\text{ПР}} + C_{\text{СМР}} + \sum_{i=1}^n C_i(a_i),$$
$$C_{\text{эксп}} = T_{\text{лет}}(C_{\text{л/с}} + C_{\text{о.ф}} + C_{\text{о.р}}),$$

где $C_{\text{соз}}$ – стоимость создания СБ на конкретном объекте;

$C_{\text{эксп}}$ – стоимость эксплуатации ИК ТСО;

$C_{\text{НИОКР}}$ – стоимость проектирования ИК ТСО (этапы НИР и ОКР);

$C_{\text{ПР}}$ – стоимость разработки проектно-сметной документации;

$C_{\text{СМР}}$ – стоимость строительного-монтажных работ по созданию ИК ТСО на объекте;

$C_i(a_i)$ – стоимость закупки $a_i \in A$ ИТСО;

n – количество ИТСО в составе ИК ТСО;

$C_{\text{л/с}}$ – стоимость содержания личного состава подразделений охраны в год;

$C_{\text{о.ф}}$ – расходы на обеспечение функционирования ИК ТСО (электроэнергия, содержание зданий и др.) в год;

$C_{\text{о.р}}$ – расходы на обеспечение работоспособности оборудования ИК ТСО (закупка ЗИП, ремонт и др.) в год;

$T_{\text{лет}}$ – количество лет, в течение которых должен эксплуатироваться ИК ТСО.

Эффективность системы безопасности – степень достижения поставленной перед системой цели, которая, как правило, представлена некоторым множеством Φ результатов функционирования вариантов систем из множества $s_i \in S$.

Каждому варианту системы $s_i \in S$ соответствует некоторое значение $\phi_{ij} \in \Phi$, зависящее от типа нарушителя $x_j \in X$ и величин параметров из множеств O и V .

Для определения значений $\phi_{ij} \in \Phi$ используется *Модель оценки эффективности*, которую можно представить в общем случае функционалом

$$\phi_{ij} = F_{CO}(O, V, s_i, x_j).$$

ТРЕБОВАНИЯ К ОПТИМАЛЬНОСТИ ВАРИАНТА СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Формулировка 1.

Из множества вариантов СБ выбрать оптимальный вариант системы, который имеет минимум стоимости создания КИ ТСО при выполнении условия – его показатели эффективности противодействия всем типам нарушителей, включенным в Модель нарушителя, имеют значения не менее заданных.

$$s^* = \left\{ s^* \mid s^* \in S \ \& \ C_{s^*} = \min_i C(s_i) \right\},$$
$$\Phi_{s^*j} \geq \Phi_{\text{треб}j},$$

где $C(s_i)$ – стоимость $s_i \in S$ варианта СБ;

C_{s^*} – стоимость $s^* \in S$ оптимального варианта СБ;

Φ_{s^*j} – показатели эффективности $s^* \in S$ оптимального варианта СБ при противодействии $x_j \in X$ типу нарушителя;

$\Phi_{\text{треб}j}$ – требуемый (заданный ЛПР) показатель эффективности противодействия СБ $x_j \in X$ типу нарушителя

Формулировка 2.

Из множества вариантов СБ выбрать оптимальный вариант системы, имеющий максимум значения обобщенного показателя эффективности при условии, что стоимость создания его ИК ТСО не превышает заданного значения.

$$s^* = \left\{ s^* \mid s^* \in S \ \& \ \phi_{s^*r} = \max_i \phi_{ir} \right\},$$
$$C_{s^*} \leq C_{\text{доп}},$$

где $C_{\text{доп}}$ – допустимая (заданная ЛПР) стоимость варианта СБ;

C_{s^*} – стоимость $s^* \in S$ оптимального варианта СБ;

ϕ_{s^*j} – показатели эффективности $s^* \in S$ оптимального варианта СБ при противодействии $x_j \in X$ типу нарушителя;

ϕ_{ir} – обобщенный показатель качества СБ, характеризующий эффективность варианта системы при воздействии всех типов нарушителей из множества X

$$\phi_{ir} = f(\phi_{i1}, \phi_{i2}, \dots, \phi_{ij}, \dots, \phi_{in_x})$$

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Оптимистическая позиция характеризует точку зрения азартного игрока, то есть матрица решений $\|\phi_{ij}\|$ сводится к одному столбцу, который содержит максимальные значения показателя эффективности для каждого варианта СБ.

$$\max_i \phi_{ir} = \max_i \left(\max_j \phi_{ij} \right).$$

Пессимистическая позиция характеризуется тем, что надо ориентироваться на наименее благоприятный случай, то есть матрица решений $\|\phi_{ij}\|$ сводится к одному столбцу, который содержит минимальные значения показателя эффективности для каждого варианта СБ.

$$\max_i \phi_{ir} = \max_i \left(\min_j \phi_{ij} \right).$$

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Критерий	Оценочная функция	Примечание
Минимаксный критерий (ММ-критерий)	$s^* = \left\{ s^* s_i \in S \wedge \phi_{s^*} = \max_i \min_j \phi_{ij} \right\}.$	
Критерий Байеса-Лапласа (BL-критерий)	$s^* = \left\{ s^* s_i \in S \wedge \phi_{s^*} = \max_i \sum_{j=1}^{n_X} q_j \phi_{ij} \wedge \sum_{j=1}^{n_X} q_j = 1 \right\}$	Неизвестны вероятности появления нарушителя
Критерий Сэвиджа (S-критерий)	$s^* = \left\{ s^* s_i \in S \wedge \phi_{s^*} = \min_i \left[\max_j \left(\max_i \phi_{ij} - \phi_{ij} \right) \right] \right\}$	
Критерий азартного игрока (H-критерий)	$s^* = \left\{ s^* s_i \in S \wedge \phi_{s^*} = \max_i \max_j \phi_{ij} \right\}$	
Критерий Гурвица (HW-критерий)	$s^* = \left\{ s^* s_i \in S \wedge \phi_{s^*} = \max_i \left[c \max_j \phi_{ij} + (c + 1) \min_j \phi_{ij} \right] \wedge 0 \leq c \leq 1 \right\}$	Сложность выбора весового множителя c
Критерий Ходжа-Лемана (HL-критерий)	$s^* = \left\{ s^* s_i \in S \wedge \phi_{s^*} = \max_i \left[v \sum_{j=1}^{n_X} q_j \phi_{ij} + (v - 1) \min_j \phi_{ij} \right] \wedge 0 \leq v \leq 1 \right\}$	Выбор v субъективен
Критерий произведения (P-критерий)	$s^* = \left\{ s^* s_i \in S \wedge \phi_{s^*} = \max_i \prod_{j=1}^{n_X} \phi_{ij} \wedge \phi_{ij} > 0 \right\}$	
Составной критерий BL(ММ)-критерия	$s^* = \left\{ s^* s_i \in S \wedge \phi_{s^*} = \max_{s \in I_1 \cap I_2} \sum_{j=1}^{n_X} q_j \phi_{ij} \wedge \sum_{j=1}^{n_X} q_j = 1 \right\}$	Неизвестны вероятности появления нарушителя

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ НА ИХ СООТВЕТСТВИЕ СИТУАЦИИ ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПОСТРОЕНИЯ СБ

Ситуация, в которой находится ЛПР при выборе оптимального варианта построения СБ, характеризуется следующими обстоятельствами:

- 1) неизвестно, какие типы нарушителей будут воздействовать на объект;
- 2) необходимо учитывать воздействие на объект любого типа нарушителя как по отдельности, так и в комплексе;
- 3) необходимо учитывать опасность угроз, исходящих от каждого типа нарушителя;
- 4) решение реализуется только один раз;
- 5) возможен (допускается) ограниченный риск.

	Критерии							
	MM	BL	S	H	HW	HL	P	BL(MM)
1	+	-	+	Критерий выделяет только доминирующие варианты без учета ситуации	+	+/-*	+	+/-
2	+/-	+/-	+/-		+/-	-	+/-	+
3	-	-	-		-	-	-	-
4	+	-	+		+	-	+/-	+
5	-	+	+		+	+	+	+

* +/- частичное совпадение с требованием ситуации, имеющейся при выборе варианта СБ.

ПЕРВАЯ МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СБ

ПРОБЛЕМА НАЗНАЧЕНИЯ ПРАВИЛА (КРИТЕРИЯ) ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СБ

Варианты СО	Типы нарушителей					Минимаксный критерий	
	1	2	3	4	5		
	Эффективность противодействия нарушителям						
Вариант СО № 1	0,85	0,82	0,77	0,81	0,79	0,77	0,78
Вариант СО № 2	0,84	0,83	0,76	0,82	0,80	0,76	
Вариант СО № 3	0,83	0,83	0,78	0,79	0,81	0,78	

Варианты СО	Типы нарушителей					Критерий произведений	
	1	2	3	4	5		
	Эффективность противодействия нарушителям						
Вариант СО № 1	0,85	0,82	0,77	0,81	0,79	0,34	0,35
Вариант СО № 2	0,84	0,83	0,76	0,82	0,80	0,35	
Вариант СО № 3	0,83	0,83	0,78	0,79	0,81	0,34	

ВТОРАЯ МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СБ

ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ КОНЕЧНОГО МНОЖЕСТВА ВАРИАНТОВ СБ

Варианты СБ	Типы нарушителей					Минимаксный критерий	
	1	2	3	4	5		
	Эффективность противодействия нарушителям						
Вариант СБ № 1	0,85	0,82	0,77	0,81	0,79	0,77	0,79
Вариант СБ № 2	0,84	0,83	0,76	0,82	0,80	0,76	
Вариант СБ № 3	0,83	0,83	0,78	0,79	0,81	0,78	
Вариант СБ № 4	0,82	0,81	0,79	0,80	0,79	0,79	

Варианты СБ	Типы нарушителей					Критерий произведений	
	1	2	3	4	5		
	Эффективность противодействия нарушителям						
Вариант СБ № 1	0,85	0,82	0,77	0,81	0,79	0,34	0,35
Вариант СБ № 2	0,84	0,83	0,76	0,82	0,80	0,35	
Вариант СБ № 3	0,83	0,83	0,78	0,79	0,81	0,34	
Вариант СБ № 4	0,82	0,81	0,79	0,80	0,79	0,33	

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ НА ИХ СООТВЕТСТВИЕ СИТУАЦИИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ОХРАНЫ (ПРИМЕНЕНИЯ СБ ПО НАЗНАЧЕНИЮ)

При решении задачи выбора оптимального варианта подразделения охраны (применения СБ по назначению) ЛПР находится в ситуации, характеризуемой следующими обстоятельствами:

- 1) известен тип нарушителя, но неизвестно, какие акции (сценарии воздействия) он будет применять;
- 2) необходимо считаться с применением нарушителем любой акции, как по отдельности, так и всего множества акций в комплексе;
- 3) решение реализуется только один раз;
- 4) возможен (допускается) ограниченный риск.

	Критерии							
	MM	BL	S	H	HW	HL	P	BL(MM)
1	-	+	-	Критерий выделяет только доминирующие варианты без учета ситуации	-	+/-	-	+/-
2	+/-	+/-	+/-		+/-	-	+/-	+
3	+	-	+		+	-	+/-	+
4	-	+	+		+	+	+	+

* +/- частичное совпадение с требованием ситуации, имеющейся при выборе варианта СБ.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ОХРАНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ИГР

На *первом уровне* поиск решения осуществляется в чистых стратегиях. Найденное решение обеспечивает наибольший гарантированный выигрыш при всех возможных сценариях воздействия нарушителя на охраняемый объект, что однозначно определяет оптимальный вариант подразделения охраны. Если седловая точка отсутствует, то осуществляется переход ко второму уровню решения.

На *втором уровне* вначале находятся смешанные стратегии, определяющие распределение вероятностей на множестве чистых стратегий в конфликтной ситуации «СБ – нарушитель». Затем осуществляется поиск рационального варианта подразделения охраны с использованием BL(ММ)-критерия, построенного на основе критериев Байеса – Лапласа и минимаксного:

$$\mathbf{z}^0 = \left\{ \mathbf{z}^0 / \mathbf{z}^0 \in \mathbf{Z} \wedge \Phi_{i^*} = \max_{i \in I_1 \cap I_2} \sum_{j=1}^{n_A} \eta_j^0 \Phi_{ij} \wedge \sum_{j=1}^{n_A} \eta_j^0 = 1 \right\}$$

где $I_1 := \left\{ i / i \in \{1, \dots, m\} \wedge \Phi_{k_0 j_0} - \min_j \Phi_{ij} \leq \varepsilon_{\text{доп}} \right\}$ – множество согласия;

$I_2 := \left\{ i / i \in \{1, \dots, k\} \wedge \max_j \Phi_{ij} - \max_j \Phi_{i_0 j} \geq \Phi_{i_0 j_0} - \min_j \Phi_{ij} = \varepsilon_i \right\}$ – выигрышное подмножество;

\mathbf{z}^0 – оптимальный вариант подразделения охраны;

η_j^0 – распределение вероятностей на множестве чистых стратегий.

Методика поддержки принятия решения при применении СБ по назначению

Задача поддержки решения при применении СБ по назначению решается в двух случаях:

- а) заблаговременного планирования применения СБ по назначению;
- б) непосредственно в условиях применения СБ по назначению.

Этапы решения задачи:

1. Сформировать множество вариантов усиления охраны объекта.
2. Для каждого варианта усиления охраны объекта определить сценарии воздействия нарушителя.
3. Определить показатели эффективности для каждого сценария с использованием

Модели оценки эффективности и построить матрицу решений $\| \Phi_{ij}^{w_k} \|$.

4. На матрице найти решение матричной игры в чистых стратегиях.

Если есть чистая стратегия, то решение найдено.

5. Найти распределение вероятностей на множестве чистых стратегий решение путем сведения игры с матрицей выигрышей $\| \Phi_{ij}^{w_k} \|$ к задаче линейного программирования.

6. Найти решение с использованием BL(MM)-критерия с учетом полученного распределения вероятностей на множестве чистых стратегий

Спасибо за внимание