

Научная статья
УДК 681.5.015.23

Принципы формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов особой важности

Александр Станиславович Бондарчук, Владимир Георгиевич Зарубский

Аннотация. В статье представлено решение задачи выбора оптимального состава элементов системы охраны объектов особой важности на основании метода машинного эксперимента, в котором количественная оценка альтернативных вариантов осуществляется посредством теории эффективности. Формирование рациональной структуры и параметров системы охраны объектов осуществлено на основании принципа оптимальности. Также в статье представлен алгоритм построения матриц отношений сходства и включения, позволяющий осуществить сопоставительный анализ эффективности существующих систем охраны по типовым боевым ситуациям нарушителей и сил охраны и обороны объекта охраны.

Ключевые слова: система охраны; принцип оптимальности; теория эффективности; военно-экономическая оценка; теоретико-игровая модель

Для цитирования: Бондарчук А.С., Зарубский В.П. Принципы формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов особой важности // Вооружение и экономика. 2024. №1(67). С. 33-39.

Original article

Principles of a Rational Structure and Parameters Generation of Special Importance Sites Security System

Aleksandr S. Bondarchuk, Vladimir G. Zarubskij

Abstract. The article presents an optimal composition choice problem solution of the security system components of special importance sites. It is based on the method of machine experiment, in which a quantitative assessment of alternative options is carried out through the efficiency theory. The rational structure and parameters generation of the sites security system is carried out on the basis of the optimality principle. The article also presents an matrices construction algorithm of similarity and inclusion relationships that allows to analyze comparatively the existing security systems effectiveness in typical combat situations of violators and security and defense forces of the site security.

Keywords: security system; optimality principle; efficiency theory; military-economic assessment; game-theoretic model

For citation: Bondarchuk A.S., Zarubskiy V.G. Principles of a Rational Structure and Parameters Generation of Special Importance Sites Security System // Armament and Economics. 2024. No.1(67). P. 33-39.

Система охраны любого объекта особой важности (повышенной опасности) является сложной военно-технической системой, функционирование которой по содержанию представляет собой согласованное применение сил и средств, взаимосвязанных по целям, задачам, месту и времени действий. Ее эффективность зависит от свойств окружающей среды и характеристик элементов, входящих в состав данной системы, с учетом свойств нарушителей [1].

Характерными особенностями этой системы, как сложной системы, являются: наличие большого числа взаимосвязанных элементов; наличие сложной целенаправленной функции системы, обусловленной многообразием задач; возможность разделения системы на самостоятельные подсистемы, задачи которых подчинены общей цели функционирования всей системы; наличие управления с иерархической структурой; воздействие случайных факторов обстановки на процесс функционирования системы; наличие черт самоорганизации при взаимодействии с внешней средой.

Значение вероятности сохранения охраняемого объекта $P_{сохр00}$, являющейся показателем функциональной эффективности системы охраны, зависит от многих действующих в реальной боевой обстановке факторов: степени совершенства отдельных составляющих системы

охраны, способа их установки, типа охраняемого объекта, тактики действий нарушителей, их количества, состава и т.д. Следовательно, задача формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов (задача совершенствования системы охраны) ставится как задача оптимального синтеза системы с управлением. При этом заданной системе охраны и множеству внешних воздействий требуется построить подсистему охраны, обеспечивающую заданное поведение системы охраны и удовлетворяющую критериям качества функционирования.

Для сложных систем, к которым относится система охраны объектов, применение классического экспериментального метода исследования путем проведения натурных экспериментов становится практически невозможным. Поэтому в качестве основного метода исследования систем охраны применяется метод машинного эксперимента, основанный на использовании системного анализа, в котором выделяется теория эффективности как основа для количественной оценки альтернативных систем.

С позиций системного подхода в системе охраны, как организационно-технической системе, выделяются элементный состав и структура.

Применительно к теории эффективности систему охраны можно рассматривать как техническую систему, состоящую из различных звеньев (элементов), объединенных общим целевым назначением. При этом система функционирует в определенной среде, расходует ресурсы, обладает топологией и совокупностью параметров, характеризующих звенья системы. Способы соединения (взаимодействия) звеньев характеризуют структуру системы. Технические средства обнаружения, инженерные средства охраны и силы охраны являются взаимодействующими элементами системы охраны.

Структура функционирования системы отражает связи элементов организационной структуры при выполнении системой своих функциональных задач. Варьируя элементным составом и способами выполнения этих задач, можно сформулировать множество вариантов функционирования системы. Вместе с тем имеются такие типовые структуры функционирования, которые лежат в основе любого варианта системы. Эти варианты имеют существенное значение для разработки математического аппарата формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов (оценки альтернативных систем).

Формирование рациональной структуры и параметров системы охраны объектов можно осуществить выбором из множества возможных вариантов элементного состава и структуры существующей и новых поколений системы совокупности лучших (оптимальных) вариантов на основе принципа оптимальности.

Лучшие (оптимальные) альтернативы элементного состава и структуры системы выбираются из представленного к выбору исходного множества альтернатив.

Выбор из исходного множества альтернатив совокупности оптимальных альтернатив в соответствии с принципом оптимальности основывается на парном их сравнении в смысле предпочтительности по критериям эффективности и стоимости. В условиях рассматриваемой задачи выбором основным требованием к процедуре выбора является обеспечение равных условий бинарного сравнения альтернатив и точности сравнительной их оценки. Критерий эффективности в этом случае является мерой достижения системой своей цели по предназначению и создает условия для сравнительной оценки альтернатив. Критерий стоимости указывает, какую долю составляет стоимость оцениваемой альтернативы от стоимости альтернативы, функция стоимости которой на множестве, представленном к выбору, принимает максимальное значение.

В теории выбора и принятия решений по признаку управляемых факторов выделяют два класса задач формирования исходного множества альтернатив¹.

К первому классу относятся задачи, в которых управляемыми факторами являются параметры системы. Исходное множество альтернатив в этом случае формируется целевой функцией, а границы исходного множества альтернатив определяются ограничениями, накладываемыми на целевую функцию.

¹ Астахов А.Д. Методика военно-экономического обоснования принимаемых решений: учеб. пособие. М.: ВИА, 2005. 55 с.

Ко второму классу относятся задачи, в которых управляющими факторами являются совокупности элементного состава, организационная структура, структура функционирования и развития системы. Исходное множество альтернатив в этом случае формируется на основе опыта и здравого смысла. Здесь организационная структура отражает размещение элементного состава в подсистемах организационной структуры и связи между этими подсистемами. Основой организационной структуры является структура системы охраны объектов. Свойства организационной структуры оцениваются параметрами элементов подсистем. Структура функционирования отражает связи элементов организационной структуры при выполнении системой своих функциональных задач. Следовательно, задача формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов относится ко второму классу.

В теории выбора и принятия решений задача выбора по признаку свойств принципа оптимальности разделяется на два класса.

К первому классу относят задачи, в которых принцип оптимальности очевиднее и не требует доказательств. В этих задачах критерием оптимальности служит целевая функция, управляющие факторы представляются параметрами целевой функции. К оптимальным относятся альтернативы, у которых целевая функция принимает одно из экстремальных значений. Целевая функция формирует исходное множество альтернатив и определяет его границы. Задача оптимизации решается методами линейного или нелинейного программирования.

Ко второму классу относят задачи, в которых принцип оптимальности не очевиден, требует доказательств. К этому классу относится и задача формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов (оптимизации элементного состава и структуры системы охраны), что объясняется следующим.

Военно-экономическая оценка альтернатив системы проводится по критериям эффективности и стоимости. Оценка относится к классу многокритериальных. Исходное множество альтернатив формируется на основе опыта и здравого смысла. Управляющими факторами являются элементный состав и структура системы. Функция цели выполняет только роль операторной функции и не служит функцией критерия оптимальности. Принцип оптимальности в этом случае не очевиден, требует обоснования. Отсюда в данной методике задача оптимизации решается на основе парного (бинарного) сравнения альтернатив по отношениям предпочтений, характеризуемых критериями эффективности и стоимости. При этом принцип оптимальности определяется на основе аксиоматического подхода.

Сущность аксиоматического подхода состоит в следующем [1]. Свойства принципа оптимальности характеризуются совокупностью аксиом, которые не противоречат опыту и здравому смыслу. Указанные аксиомы определяют концепцию последовательности выбора оптимальных альтернатив из исходного множества альтернатив по критериям эффективности и стоимости.

Графически выбор множества оптимальных альтернатив $X_{оп}$ из исходного множества альтернатив, представляемого к выбору, представлен на рисунке 1.

Решение задачи выбора оптимальных альтернатив должно производиться по типовым решаемым системами охраны задач для каждого варианта системы.

Вариант применения предлагаемого аксиоматического подхода к выбору оптимального варианта системы охраны на основе парного сравнения альтернатив по отношениям предпочтительности, характеризуемых критериями $W_э$ эффективности и $W_с$ стоимости, приведен в таблице 1.

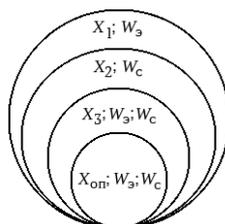


Рисунок 1 – Выбор множества $X_{оп}$ альтернатив из представленного к выбору исходного множества альтернатив X

Таблица 1 – Расчёт оптимального варианта системы на основе парного сравнения альтернатив

Этапы сравнения	Критерии	Варианты альтернатив			
		1	2	3	4
1	W_3	0,80	0,90	0,95	0,98
2	W_c	0,75	0,80	0,82	0,88
3	W_3/W_c	1,13	1,12	1,16	1,11
4	$(W_3/W_c) \max$			1,16 max	

На основании аксиоматического подхода [1] приведенные в таблице 1 данные свидетельствуют, что в соответствии с аксиомой A1 условие $W_{эx} \in (\max W_{эx}; 0,9 \max W_{эx})$ при $\max W_{эx} = 1,0$ выполняется в вариантах альтернатив 2, 3, 4.

Условия аксиомы A2 $W_{cx} \in (\min W_{cx1}; 1,1 \min W_{cx1})$ при $\min W_{cx1} = 0,75$ выполняется в вариантах альтернатив 1, 2, 3.

В вариантах альтернатив 2 и 3 на третьем этапе их сравнения выполняются совместные условия аксиом A1 и A2. В дальнейшем эти варианты используются для выбора оптимального варианта.

Условие аксиомы A3 $(W_{эx2}/W_{cx2}) \max$ выполняется в третьем варианте альтернатив, который в соответствии с разработанной методикой считается оптимальным.

Для реализации принципа оптимальности необходимо сформировать достаточно большое число возможных способов достижения цели, провести их анализ и выбрать наилучший по определенному критерию. Если же для выбора рассматривается ограниченное число вариантов, то наилучший из них обычно называют рациональным в отличие от строго оптимального. При этом необходимо учитывать, что существенное влияние на свойства системы оказывает ее структура: состав, построение и взаимосвязь ее элементов. Поэтому найденный оптимальный вариант элементного состава и структуры системы охраны кроме того должен быть исследован при изменении параметров элементов системы на основе оценки их влияния на свойства системы в целом или на степень достижения цели ее функционирования, так как, согласно принятым исходным условиям и допущениям, результаты оценки альтернатив системы по критериям эффективности и стоимости строго соответствуют только заданным значениям их параметров. При изменении значений параметров решение задачи должно уточняться с учетом того, что свойства системы количественно оцениваются частными критериями эффективности элементов системы охраны объекта.

Следует также отметить, что параметры внешней среды определяются на основе научного прогноза или экспериментальных оценок и обычно представляются в виде умеренно взвешенных, оптимистических или пессимистических их ожидаемых значений [2-4]. Задача военно-экономической оценки и оптимизации системы охраны объектов решается, прежде всего, для случая умеренно взвешенных значений параметров, а затем оценивается возможное отклонение критерия эффективности W_3 для оптимистических и пессимистических значений.

Поэтому основной проблемой разработки систем охраны или их модернизации (с точки зрения повышения эффективности) является формирование (выбор) рациональных параметров (характеристик) элементов системы охраны, обеспечивающих качественное выполнение боевых задач.

Учитывая, что решение должно приниматься в условиях неопределенности тактики действия нарушителей и воздействия внешней среды в конфликтной ситуации, показатель эффективности системы зачастую трудно поддается прогнозированию. Следовательно, выбор оптимального параметра с использованием обычных методов оптимизации оказывается сложной проблемой.

Для применения в условиях конфликтной ситуации обычных методов необходимо задаться законом распределения их вероятностей. Однако для данных ситуаций характерно то, что отдать предпочтение какой-либо гипотезе не представляется возможным.

Поэтому в таких случаях наиболее приемлемым является теоретико-игровая методика обоснования решений, состоящая в построении игровой модели, являющейся формальной моделью конфликтов.

Оптимальным для теоретико-игровой модели является такой принцип, согласно которому сторона, принимающая решение, ориентируется на наиболее устойчивое распределение вероятностей исхода конфликта, т.е. на такое распределение, при котором средний (в смысле математического ожидания) выигрыш считается оптимальным, что обеспечивает устойчивость показателя эффективности системы независимо от способов действия «разумного» нарушителя или влияния внешней среды.

Таким принципом формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов является принцип определения так называемых «коэффициентов соизмеримости (сопоставимости)» путем эквивалентной замены рассматриваемой системы на альтернативную с учетом характеристик соответствующих подсистем². При этом важно выявить частные критерии, позволяющие провести выбор рациональных характеристик подсистем и системы в целом [1; 7]. Следовательно, для проведения детальных исследований по выбору рациональных параметров составных частей системы важно показатели эффективности и стоимости свести к частным критериям оценки подсистем (составных частей системы).

Основываясь на такой методике, рассмотрим последовательность формирования рациональной структуры и параметров системы охраны объектов на основе принципа сопоставления вариантов систем с учетом стратегий поведения нарушителей и внешней среды.

При сопоставлении моделей конфликтной ситуации будем считать, что боевая задача может быть решена набором возможных исходов, связанных с успешным выполнением задач системой охраны:

совокупность исходов, приводящих к обнаружению нарушителей;

совокупность исходов, приводящих к задержанию (поражению) нарушителей до их приближения к объекту.

Принцип сопоставления вариантов системы охраны предполагает сопоставительный анализ эффективности существующих систем охраны по типовым боевым ситуациям нарушителей и сил охраны и обороны объекта охраны.

Принцип сопоставления предполагает построение также матриц отношения сходства и включения. Вычисление меры сходства двух сравниваемых систем по качественным параметрам их элементов удобно производить на основе бинарной матрицы, которая в терминах теории множеств задается следующим образом [5]:

$$S = \{S_j | j \in J\}; S_j = \{x_{ij} \vee i \in I, j \in J\}; J = \{j \vee j - \text{целое число, } j = \overline{1,2}\}; \quad (1)$$

$$Z = \{Z_i | i \in I\}; Z_i = \{x_{ij} \vee i \in I, j \in J\}; I = \{i \vee i - \text{целое число, } 1 \leq i \leq p\}, \quad (2)$$

где S – индексированное множество с элементами S_j ; S_j – j -е описание объекта (вариант системы охраны); Z – индексированное множество с элементами Z_i (значения параметров элементов системы); Z_i – i -й параметр (значение параметра); x_{ij} – одно из двух значений 0,1 i -го параметра у j -го объекта $x_{ij} \in \{0,1\}$ ($x_{ij} = 1$, если i -й параметр есть у j -го объекта, в противном случае $x_{ij} = 0$); J и I – индексные множества.

Бинарная матрица для вычисления меры сходства между двумя объектами имеет следующий вид:

$$B = \left\| x_{ij} \right\|_{i=1,p}^{\overline{1,2}}. \quad (3)$$

² Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике: учебник. М.: Финансы и статистика, 2000. 368 с.; Анфилатов В.С., Емельянов А.Е., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.; *с м. также* [5; 6].

Вычисление меры сходства можно произвести по формуле Чекановского-Серенсена³ с учетом бинарной матрицы по следующему выражению:

$$C(S_1, S_2) = \frac{2 \sum_{i=1}^p x_{i1} x_{i2}}{\sum_{i=1}^p x_{i1} + \sum_{i=1}^p x_{i2}}, \quad (4)$$

где $C(S_1, S_2)$ – мера сходства; x_{i1}, x_{i2} – одно из двух значений 0,1.

Мера включения отражает различную степень включения одного объекта (вариант системы охраны) в другой и позволяет выявить, какой из двух сравниваемых объектов содержит больше специфических параметров, т.е. определить какой объект более оригинален, а какой – более типичен к базовому объекту (аналогу) среди множества анализируемых объектов.

В этих случаях целесообразно использование показателя вероятности сохранения объекта, т.е. «минимум ущерба», наносимого охраняемым объектам.

В соответствии с выражением (5) меры включения S_2 во множество S_1 и S_1 в S_2 определяются следующим образом:

$$B(S_1, S_2) = \frac{m(S_1 \cap S_2)}{m(S_1)}, B(S_2, S_1) = \frac{m(S_1 \cap S_2)}{m(S_2)}. \quad (5)$$

При этом количество элементов пересечения двух множеств $m(S_1 \cap S_2)$ равно: $m(S_1 \cap S_2) = \sum_{i=1}^p x_{i1} x_{i2}$, где x_{i1}, x_{i2} – соответственно значения i -го элемента для множеств S_1 и S_2 .

Меры включения несимметричны, во включение j -го описания в самом себе стопроцентно, так как $m(S_j \cap S_j) = m(S_j)$. Для более полного анализа множеств исследуемых параметров составных частей вариантов систем охраны и их сочетаний рассчитываются меры сходства, различия и включения для всех пар объектов. Это позволит исключить, с одной стороны, дублирование параметров и, с другой стороны, выделить доминирующие варианты исследуемых объектов.

Алгоритм построения матриц отношений сходства и включений для исследуемых объектов может быть следующим:

1. Формируются два множества: множество исследуемых вариантов систем охраны (альтернатив) или их сочетания $J = \{S_1, S_2, \dots, S_q\}$ и множество параметров составных частей системы охраны $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_p\}$. Каждая система описывается подмножеством параметров $\{Z_i\} \in Z$, обеспечивающих качественное выполнение боевых задач. Параметрами могут являться частные и обобщенные характеристики поражающего действия, характеристики местности, тактические и технические требования к средствам обнаружения и к действиям нарушителей и сил охраны и т.д. Все параметры систематизируются в матрицу параметров (образов), где представляются индексированными множествами.

2. Генерируются все парные сочетания вариантов и для каждой пары описаний систем S_i и S_j строится индексная матрица $B = \|x_{ij}\|$; $i = \overline{1, p}, j = \overline{1, 2}$, где p – число строк матрицы параметров, соответствующее числу рассматриваемых параметров $m(Z)$. При составлении матрицы $[B]$ элементами x_{ij} должны быть приняты максимальные значения показателей эффективности из всей совокупности условий применения вариантов, что обеспечивает сокращение размеров матрицы, не искажая сути конфликтной ситуации. На основе индексной матрицы рассчитываются меры сходства $C(S_1, S_2)$ или включения $B(S_1, S_2)$.

3. На основе рассчитанных на шаге 2 значений мер сходства или включения строятся соответствующие матрицы размерностью $q \times q$.

При этом следует отметить, что матрица мер сходства симметрична относительно главной диагонали, матрица мер включения таким свойством не обладает. При построении матрицы сходства индекс при первом множестве в мере сходства указывается номер строки матрицы, а при втором – номер столбца. При построении матрицы включения индекс при названии первого множества в скобках указывает номер столбца, а второго – номер строки матрицы включения.

³ Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А. Теория выбора и принятий решений: учеб. пособие. М.: Наука, 1982. 328 с.; см. также [8-10].

4. Задается отношение сходства или включения в следующем виде:

$$\begin{aligned} \langle C_{\Delta}, J \rangle &= \{S_i, S_j \in J \vee C(S_i, S_j) \geq \Delta\}; \\ \langle B_{\Delta}, J \rangle &= \{S_i, S_j \in J \vee B(S_i, S_j) \geq \Delta\}, \end{aligned} \quad (6)$$

где Δ – произвольное число ($0 \leq \Delta \leq 1,0$); $i, j \in J$.

Для заданного значения Δ строится матрица сходства $[C_{\Delta}]$ или матрица включения $[B_{\Delta}]$, в которой все значения, большие или равные Δ , заменяются единицами, а оставшиеся – нулями.

В действительности это соответствует требованию повышения эффективности системы охраны объектов, что неизбежно приводит к вытеснению менее эффективных систем (все значения матриц, меньшие Δ) и замене их более эффективными, хотя и дорогими (все значения матриц, большие или равные Δ).

Таким образом, тенденция к повышению эффективности системы охраны объектов при ограничении на ресурсы и стоимостные показатели потребует оптимизации параметров составных частей системы и их типажа при разработке. При этом методологической основой для определения рациональной структуры и параметров системы охраны применяется системный подход, а для решения технической основы используется широкая унификация технических решений системы (по схемным решениям, узлам, блокам, способам применения и др.).

Список источников

1. Бондарчук А.С. Система охраны и обороны важных государственных объектов и оценка эффективности ее функционирования: монография. Пермь: ПВИ ВВ МВД России, 2011. 190 с.
2. Здоровцов А.Г., Пушкарёв А.М. Оценка эффективности системы охраны периметров объектов и контроля за прилегающей территорией // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. 2022. №4(8). С. 43-45.
3. Гудков М.А., Герасименко Е.С., Калков Д.Ю., Бокадаров С.А. Анализ эффективности систем безопасности объектов охраны // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2020. №1. С. 62-67.
4. Лазарев И.В. Применение графовой модели для оценки эффективности комплекса технических средств систем охраны // Охрана, безопасность, связь. 2020. №5-2. С. 151-153.
5. Йех Т. Теория множества и метод форсинга. М.: Наука, 1973. 152 с.
6. Чуев Ю.В., Михайлов Ю.Б. Прогнозирование в военном деле. М.: Воениздат, 1975. 279 с.
7. Пушкарёв А.М., Здоровцов А.Г. К вопросу оптимального синтеза систем физической защиты // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. №11. С. 62-66.
8. Шенон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 418 с.
9. Ушаков И.А. Методы расчета эффективности на этапе проектирования. М.: Знание, 1983. 37 с.
10. Кендалл М. Ранговые корреляции. М.: Статистика, 1975. 216 с.

Информация об авторах

А.С. Бондарчук – кандидат технических наук, доцент;
В.Г. Зарубский – кандидат технических наук.