

**ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ МЕР
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНО
ОПАСНОГО ОБЪЕКТА (СИСТЕМЫ) НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ**

**Доктор техн. наук В.П. Гаенко, канд. воен. наук К.В. Ковалевский,
канд. техн. наук А.Ю. Кондратьев
НИЦ БТС 12 ЦНИИ Минобороны России**

Разработаны правила построения иерархии процесса обоснования мер обеспечения комплексной безопасности потенциально опасного объекта (системы). На основе метода анализа иерархий обоснован алгоритм сравнительной оценки мер с целью предупреждения угроз видам деятельности объекта (системы).

Ключевые слова: комплексная безопасность, вид деятельности, метод анализа иерархий, эвристический метод, потенциально опасный объект.

**HEURISTIC METHOD OF INTEGRATED ASSESSMENT OF MEASURES
TO PREVENT THREATS TO ACTIVITIES OF A POTENTIALLY DANGEROUS
OBJECTS (SYSTEM) BASED ON THE APPLICATION OF THE HIERARCHY
ANALYSIS METHOD**

**Dr. (Tech.) V.P. Gaenko, Ph.D. (Military) K.V. Kovalevsky,
Ph.D. (Tech.) A.Y. Kondratyev
Technical Systems Safety Research Center of the 12 Central Scientific-Research
Institute of the Department of Defense of Russian Federation**

Rules for constructing a hierarchy of the process of justifying measures to ensure the integrated safety of a potentially hazardous facility have been developed. Justified the algorithm of measures in order to prevent threats by the type of activity of the object based on the hierarchy analysis method.

Keywords: comprehensive safety, kind of activity, method of analysis of hierarchies, heuristic method, potentially dangerous objects.

Основные положения метода

С целью своевременного предупреждения и эффективного реагирования на возможные угрозы в ряде министерств и ведомств создаются системы управления комплексной безопасностью видами деятельности подведомственных потенциально опасных объектов (ПОО). Такие системы должны эффективно упреждать, выявлять, обнаруживать и парировать существующие и прогнозируемые угрозы объектам, минимизировать ущерб от их воздействия в различных условиях.

Под комплексной безопасностью объекта (системы) понимают состояние его всесторонней защищенности в различных условиях обстановки, в том числе при совместных

воздействиях различных эндогенных и экзогенных деструктивных и негативных факторов (угроз), обеспечивающее выполнение объектом задач по предназначению.

Для *оперативной* подготовки и принятия решений по управлению комплексной безопасностью обоснован эвристический метод сравнительной оценки мер по снижению риска негативного воздействия угроз деятельности объектам (системам) различного уровня. В основу метода положена шестиуровневая функционально-параметрическая модель анализа и сравнительной оценки мероприятий по предотвращению возможных (прогнозируемых) угроз деятельности ПОО (системы) на основе применения метода анализа иерархий (МАИ).

Процесс обоснования организационно технических мер (мероприятий) обеспечения комплексной безопасности организационно-технической системы (ПОО) при осуществлении различных видов деятельности представим последовательностью следующих этапов.

1) Этап структурирования проблемы оценки комплексной безопасности (задачи сравнительной оценки альтернатив – управленческих решений по снижению риска угроз деятельности рассматриваемой системы).

На этапе определяется цель управления комплексной безопасностью, а также ограничения, налагаемые на процесс достижения цели. Задача формулируется таким образом, что бы были видны пути вмешательства и управления. Основные требования к цели: ее четкая постановка; достижимость; возможность корректировки при изменении условий (обстановки) и прогнозируемых угроз.

Цель процесса управления заключается в достижении максимального эффекта при реализации мер по предотвращению (снижению риска неблагоприятного воздействия) прогнозируемой угрозы (угроз) на виды деятельности (объекты) рассматриваемой системы. Влияние на виды деятельности оценивается через индикаторные параметры – обобщенные показатели и критерии эффективности основных функций выполняемых в рамках осуществления того или иного вида деятельности системой (органом, организацией, объектом).

В качестве варианта цели можно принять обеспечение максимально-возможного снижения рисков негативного воздействия прогнозируемых (реализуемых) угроз деятельности системы, т.е. обеспечение ее комплексной безопасности.

2) Этап формирования перечня возможных угроз.

В перечень включаются природные, техногенные, социальные и иные антропогенные угрозы (факторы), которые могут оказать негативное влияние на выполнение тех или иных функций системой (объектом). Структурирование проблемы по п.1 осуществляется (конкретизируется, уточняется) применительно к реакции на конкретную прогнозируемую (реализуемую) угрозу (угрозы).

3) Этап определения перечня альтернатив (технических решений, организационных или организационно-технических мер), направленных на предупреждение (парирование) или смягчение угроз.

Формирование перечня альтернатив осуществляется с учетом располагаемых ресурсов и возможных ограничений, например связанных с выполнением требований нормативных документов. С целью сокращения размерности задачи, при структурировании проблемы (п.1) принимаются во внимание альтернативы (меры) по предупреждению (смягчению) конкретной прогнозируемой или реализуемой угрозы (угроз), т.е. с учетом результатов по п.2.

4) Этап построение функционально-параметрической структуры модели системы.

На этапе определяются основные виды деятельности, основные функции выполняемые системой (объектом) в рамках конкретного вида деятельности, а также контролируемые (индикаторные) параметры по каждой функции и взаимосвязи атрибутов.

Рассматриваются те индикаторные – контролируемые параметры, через значения которых можно оценить негативное влияние прогнозируемых (реализуемых) угроз. Через индикаторные параметры также оцениваются мероприятия (альтернативы) по парированию (смягчению) угроз. Выполняемые действия (основные мероприятия по управлению комплексной безопасностью) как правило, регламентируются нормативными документами.

5) Этап осуществления комплексной оценки мероприятий, с учетом возможного разнонаправленного (противоречивого) влияния мер на выполнение тех или иных функций по каждому виду деятельности системы.

6) Заключительный этап.

Принятие решения на основании оценки степени достижения цели – выбор наилучшей альтернативы по предупреждению угрозы.

Различают прямой, обратный и комбинированный (объединенный) процессы планирования поиска наилучшего решения – оценки значимости альтернатив.

Прямой процесс представляет собой упорядоченную последовательность событий от текущего (исходного) состояния в последовательности: используемый ресурс (альтернативы, мероприятия) – факторы среды или угрозы, влияющие на комплексную безопасность системы через индикаторные параметры и функции видов деятельности системы (объекта), с оценкой результатов – эффективности (коэффициентов значимости) мероприятий (альтернатив).

В случае обратного процесса атрибуты рассматривают в обратной последовательности от желаемого исхода к альтернативам (оцениваемым мероприятиям). При этом оцениваются влияние угроз (факторов среды) и мероприятий на степень достижения цели.

На практике часто прямой и обратный процессы построения модели поиска рационального решения объединяются. В качестве одного из подходов к объединению прямого и обратного процессов поиска можно рассмотреть подход, базирующийся на использовании МАИ при выборе рационального решения [1].

МАИ является эвристическим методом. В мировой научной практике МАИ наиболее эффективно зарекомендовавшем себя для решения сложных многокритериальных задач принятия решения.

МАИ является эффективной процедурой для иерархического представления систем, определяющих суть проблем любой природы. Метод состоит в декомпозиции проблемы на все более простые составные части и в дальнейшей обработке суждений экспертов на основании простых (на уровне здравого смысла) парных сравнений атрибутов относительно того или иного критерия (показателя).

На практике эксперту легче упорядочить суждения, например, не определять, с какой вероятностью произойдет опасное событие (реализуется риск) для вариантов угроз (атрибутов) A_1 и A_2 , а определить меру относительного превосходства одного атрибута над другим по рассматриваемому показателю (например: атрибуты (альтернативы) эквивалентны, превосходство незначительное или абсолютное). Предпочтительности атрибутов (альтернатив) в процедуре МАИ устанавливаются с помощью матриц парных сравнений, заполняемых экспертами на основе использования девятибалльной шкалы относительной важности (см. табл. 1) [1, 2].

Поскольку количество суждений с понижением уровня иерархии растет по схеме цепной реакции, то человек не способен логически обработать и упорядочить эти суждения в сложной системе. Математический аппарат МАИ позволяет логически упорядочить эти суждения и дать им количественную оценку в форме ответа, представляющего вектор приоритетов относительной значимости (важности) оцениваемых атрибутов.

В табл. 1 уступающему показателю (характеристике, параметру, процессу, элементу, стратегии, виду деятельности или др. атрибуту) присваиваются обратные значения меры относительной важности от $1/2$ до $1/9$ соответственно.

Шкала оценки относительной важности атрибутов

Мера относительной важности	Определение	Пояснение
1	Равная важность	Равный вклад двух показателей (характеристик, параметров, процессов, элементов, стратегий, видов деятельности или др. атрибутов)
3	Умеренное превосходство	Опыт и анализ дают легкое превосходство рассматриваемому показателю над другим
5	Существенное (легко различимое) превосходство	Опыт и анализ дают без сомнения превосходство рассматриваемому показателю над другим
7	Значительное превосходство	Сильно выраженное превосходство
9	Абсолютное превосходство	Абсолютное (сильно выраженное) превосходство
2, 4, 6, 8	Промежуточные суждения	Применяется в случае компромиссов, в том числе между экспертами

При экспертном рассмотрении сложных задач, связанных с *оценками риска*, например, когда на этапе анализа выявлено, что каждая из рассматриваемых альтернатив связана с возможностью реализации ряда различного вида или природы аналитически не соизмеримых опасностей (рисков), можно воспользоваться модифицированной процедурой МАИ. Теоретическое обоснование модифицированной процедуры МАИ приведено в [2, 3].

Предложенный в [2, 3] метод ориентирован на решение задач сравнительной оценки эффективности (безопасности) систем по показателям риска, а также задач сравнительной оценки качества многоцелевых и многофункциональных систем, когда интегральные показатели оценки качества отдельных функций системы могут быть представлены в виде мультикативной свертки двух частных показателей.

Такая задача возникает при планировании и оценке мероприятий влияющих на выполнение функции управления безопасностью эксплуатации потенциально опасного объекта или при ЛПА с объектом, когда те или иные мероприятия могут по-разному влиять как на возможность (вероятность) предотвращения ущерба, так и величину (масштаб) предотвращаемого ущерба [2, 3].

Проблему процесса выбора рационального решения (альтернативы) в целях снижения рисков угроз деятельности системы с использованием МАИ представим в виде 6-ти уровневой иерархии (рис. 1).

Анализ и нумерацию уровней иерархии проведем с верхнего уровня.

Первый (верхний) уровень иерархии представлен единственным атрибутом (элементом). Атрибут определяет цель управления безопасностью, т.е. достижение желаемого (наилучшего) результата. Желаемый результат можно характеризовать, например, как обеспечение максимально-возможного снижения рисков негативного воздействия прогнозируемой угрозы (угроз) деятельности рассматриваемой системы (объекта).

На *втором* уровне, определим субъекты обеспечения комплексной безопасности – основные *виды деятельности* системы (ПОО). К таковым основным видам деятельности можно отнести:

- выполнение задач по предназначению объектом (системой);
- обеспечение безопасности эксплуатации ПОО (системы);

- обеспечение антитеррористической защищенности ПОО (системы);
- материальное и техническое обеспечение ПОО (системы);
- обеспечение связи и функционирования АСУ ПОО (системы);
- обеспечение защиты информации (государственной тайны);
- поддержание морально-психологического состояния персонала ПОО и др.

Количество видов деятельности может быть, как расширено, так и сокращено в зависимости от специфики и объема рассматриваемой задачи (рассмотрения органа управления отрасли в целом или конкретного ПОО, характера анализируемых угроз и др.).

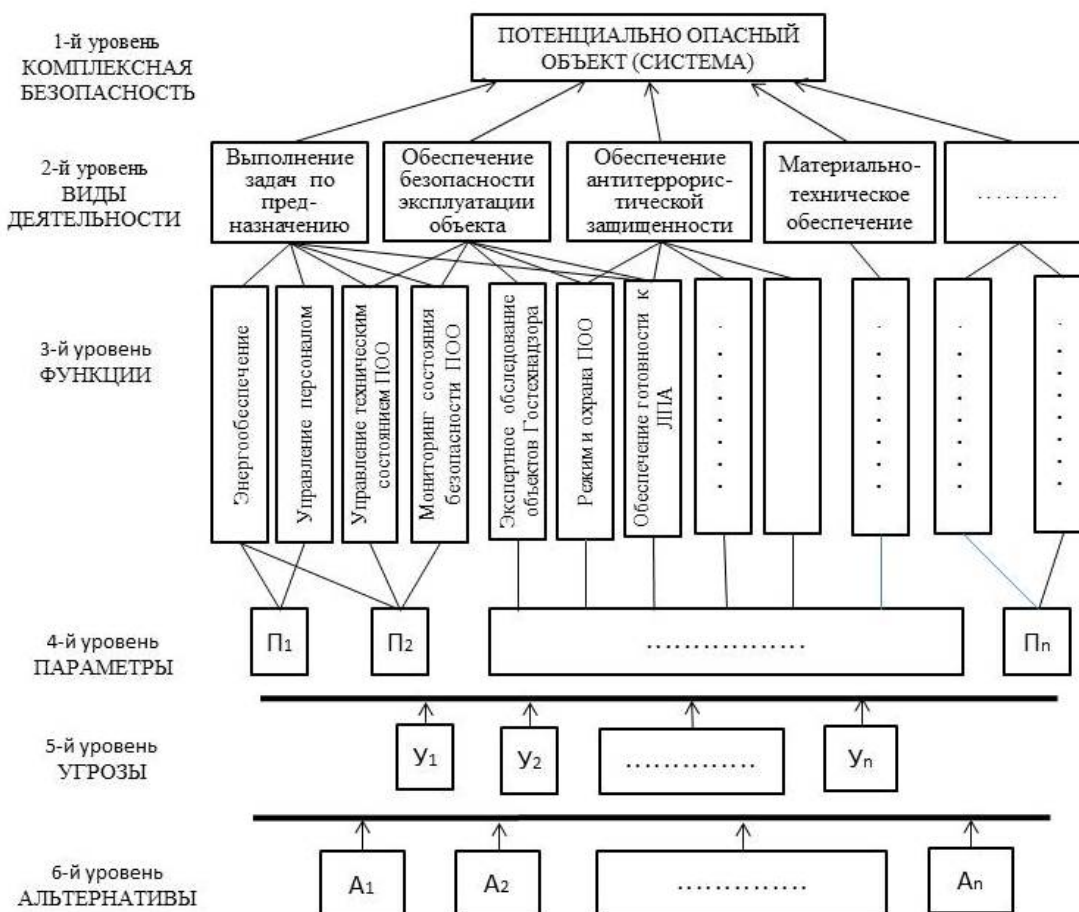


Рис. 1. Иерархия проблемы управления комплексной безопасностью потенциально опасного объекта (системы)

На *третьем* уровне приведены основные *функции*, выполняемые органом управления (организацией, объектом) в рамках осуществления каждого конкретного вида деятельности. Некоторые функции применительно к ряду перечисленных видов деятельности приведены в структуре иерархии системы (см. рис. 1). Основные функции по каждому виду деятельности, можно определить на основании действующих нормативных документов (положений об органе или организации, эксплуатирующей ПОО).

Некоторые функции могут оказывать влияние более чем на один вид деятельности, в том числе разнонаправлено. Так меры направленные на повышение безопасности экс-

плуатации и антитеррористическую защищенность ПОО, как правило, снижают показатели функционального предназначения объекта.

Оценки качества мероприятий в отношении к факторам, влияющим на эффективность ЛПА, могут проводиться с учетом тяжести (величины) предотвращаемого ущерба и вероятности (возможности) его предотвращения на основе использования модифицированной процедуры МАИ [2]. Такая задача рассмотрена в [4].

На *четвертом* уровне иерархии приведены индикаторные параметры – критерии и показатели эффективности выполнения функций. Перечень параметров определяется с учетом специфики выполняемой функции и *подверженности* той или иной функции вида деятельности рассматриваемой системы *источнику угрозы* (угроз). К таковым можно отнести: устойчивость системы к аварийным воздействиям различной физической природы; риски ущерба субъектам безопасности (системе, окружающей природной и техногенной среде, обороне, человеку из состава персонала и (или) населения); временные показатели; стоимость; ресурсоемкость; надежность; техническое состояние; готовность и др.

Пятый уровень представлен множеством возможных *угроз*, для предупреждения которых могут быть приняты те или иные решения (альтернативы). Расширенный перечень всевозможных угроз видам деятельности системы (объекта) приведен на (рис. 2).



Рис. 2. Расширенный перечень угроз деятельности объектов

Шестой (нижний) уровень представлен множеством возможных *альтернатив* (рассматриваемых вариантов технических решений, организационных и организационно-технических мер), из состава которых предстоит выбрать наилучшую, обеспечивающую максимальный эффект (уровень комплексной безопасности).

Процесс выбора рационального решения носит итеративный характер. Атрибуты каждого уровня иерархии могут быть уточнены, дополнены, либо исключены с учетом объ-

ема исследуемого объекта (система, ПОО), характера и специфики прогнозируемой угрозы (угроз), располагаемых ресурсов привлекаемых к реализации, а также степени влияния атрибутов на конечный результат. Т.е. относительно некоторых функций и даже видов деятельности системы ряд альтернатив будут равноценны с точки зрения их влияния на конечный результат.

Прежде чем приступить к эвристическому планированию поиска решения и формализации задачи следует содержательно описать все атрибуты, используемые в модели, характер окружающей обстановки например, криминогенной, характеристики (параметры) прогнозируемых угроз и др. атрибутов с целью их однозначного понимания экспертами и лицом принимающим решение. Для экспертной оценки целесообразно привлечь 3-5 специалистов.

Алгоритм решения задачи выбора рациональных мер методом анализа иерархий

Рассмотрим первый уровень иерархии проблемы управления комплексной безопасностью (рис. 1).

Содержательно определим обобщенный показатель комплексной безопасности системы как характеристики (рейтинга, значимости) мероприятий по предупреждению риска негативного воздействия рассматриваемой (прогнозируемой или реализуемой) угрозы (ряду угроз) деятельности системы.

При рассмотрении второго уровня иерархии с использованием МАИ определим вектор приоритетов второго уровня относительно первого X_{I-II} . Компоненты вектора X_{I-II} характеризуют степень влияния (ранги, значимости) *видов деятельности* на *комплексную безопасность* системы. Могут быть получены на основании матрицы парных сравнений, заполненной экспертами.

фактор	1	2	$j=3 \dots n_B - 1$	n_B	X_{I-II}
1	1	$p_{1,2}$	$p_{1,j}$	p_{1,n_B}	x_1
2	$1/p_{1,2}$	1	$p_{2,j}$	p_{2,n_B}	x_2
$i=3 \dots n_B - 1$	$1/p_{1,i}$	$1/p_{2,i}$	$1/p_{j,i} (i > j), 1, p_{j,i} (j > i)$	p_{i,n_B}	x_i
n_B	$1/p_{1,n_B}$	$1/p_{2,n_B}$	$1/p_{i,n_B}$	1	x_{n_B}

Эксперты заполняют наддиагональные элементы матрицы, пользуясь (табл. 1). Поддиагональные элементы находим из соотношения $p_{j,i} = 1/p_{i,j}$.

Номер строки и столбца в матрице соответствуют порядковому номеру фактора (вида деятельности) согласно перечислению на втором уровне иерархии (рис. 1).

Вектор X_{I-II} имеет размерность равную числу n_B видов деятельности, рассматриваемых на втором уровне иерархии.

Далее на *третьем* уровне рассматриваемой иерархии каждая пара *функций* экспертами сравнивается относительно степени влияния на *факторы* второго уровня иерархии, т.е. виды деятельности системы (объекта). Полагаем, что в иерархии на третьем уровне определены n_Φ атрибутов (функций).

Матрицы парных сравнений, для заполнения экспертами и получения векторов (матрицы) приоритетов $X_{II-III} = [X_{II-III}^{(1)} \dots X_{II-III}^{(n_B)}]$ можно представить в следующем виде.

Обеспечение выполнения задач по предназначению					$X_{II-III}^{(1)}$
функция	1	2	$j=3 \dots n_{\Phi} - 1$	n_{Φ}	
1	1	$p_{1,2}$	$p_{1,j}$	$p_{1,n_{\Phi}}$	$x_1^{(1)}$
2		1	$p_{2,j}$	$p_{2,n_{\Phi}}$	$x_2^{(1)}$
$i=3 \dots n_{\Phi} - 1$			$p_{1,j} (i < j)$	$p_{i,n_{\Phi}}$	$x_i^{(1)}$
n_{Φ}				1	$x_{n_{\Phi}}^{(1)}$
Обеспечение безопасности эксплуатации ПОО					$X_{II-III}^{(2)}$
1	1	$p_{1,2}$	$p_{1,j}$	$p_{1,n_{\Phi}}$	$x_1^{(2)}$
2		1	$p_{2,j}$	$p_{1,n_{\Phi}}$	$x_2^{(2)}$
$i=3 \dots n_{\Phi} - 1$			$p_{1,j} (i < j)$	$p_{i,n_{\Phi}}$	$x_i^{(2)}$
n_{Φ}				1	$x_{n_{\Phi}}^{(2)}$
Обеспечение антитеррористической защищенности ПОО					$X_{II-III}^{(3)}$
1	1	$p_{1,2}$	$p_{1,j}$	$p_{1,n_{\Phi}}$	$x_1^{(3)}$
2		1	$p_{2,j}$	$p_{1,n_{\Phi}}$	$x_2^{(3)}$
$i=3 \dots n_{\Phi} - 1$			$p_{1,j} (i < j)$	$p_{i,n_{\Phi}}$	$x_i^{(3)}$
n_{Φ}				1	$x_{n_{\Phi}}^{(3)}$
Материальное и техническое обеспечение					$X_{II-III}^{(4)}$
1	1	$p_{1,2}$	$p_{1,j}$	$p_{1,n_{\Phi}}$	$x_1^{(4)}$
2		1	$p_{2,j}$	$p_{1,n_{\Phi}}$	$x_2^{(4)}$
$i=3 \dots n_{\Phi} - 1$			$p_{1,j} (i < j)$	$p_{i,n_{\Phi}}$	$x_i^{(4)}$
n_{Φ}				1	$x_{n_{\Phi}}^{(4)}$
Обеспечение связи и функционирования АСУ					$X_{II-III}^{(5)}$
1	1	$p_{1,2}$	$p_{1,j}$	$p_{1,n_{\Phi}}$	$x_1^{(5)}$
2		1	$p_{2,j}$	$p_{1,n_{\Phi}}$	$x_2^{(5)}$
$i=3 \dots n_{\Phi} - 1$			$p_{1,j} (i < j)$	$p_{i,n_{\Phi}}$	$x_i^{(5)}$
n_{Φ}				1	$x_{n_{\Phi}}^{(5)}$
Обеспечение защиты информации (государственно тайны)					$X_{II-III}^{(6)}$
1	1	$p_{1,2}$	$p_{1,j}$	$p_{1,n_{\Phi}}$	$x_1^{(6)}$
2		1	$p_{2,j}$	$p_{1,n_{\Phi}}$	$x_2^{(6)}$
$i=3 \dots n_{\Phi} - 1$			$p_{1,j} (i < j)$	$p_{i,n_{\Phi}}$	$x_i^{(6)}$
n_{Φ}				1	$x_{n_{\Phi}}^{(6)}$

Поддержание морально-психологического состояния персонала					$\mathbf{X}_{II-III}^{(n_b)}$
1	1	$p_{1,2}$	$p_{1,j}$	p_{1,n_ϕ}	$x_1^{(n_b)}$
2		1	$p_{2,j}$	p_{1,n_ϕ}	$x_2^{(n_b)}$
$i=3 \dots n_\phi - 1$			$p_{i,j} \ (i < j)$	p_{i,n_ϕ}	$x_i^{(n_b)}$
n_ϕ				1	$x_{n_\phi}^{(n_b)}$

В матрицах приведены наддиагональные элементы, заполняемые экспертами.

Далее определим *обобщенные* ранги (веса, важности, значимости) \mathbf{X}_{I-III} функций с учетом видов деятельности и их влияния на состояние комплексной безопасности объекта (системы). С этой целью необходимо матрицу векторов приоритетов функций $\mathbf{X}_{II-III} = [\mathbf{X}_{II-III}^{(1)} \dots \mathbf{X}_{II-III}^{(n_b)}]$, полученный на рассматриваемом шаге умножить справа на вектор приоритетов \mathbf{X}_{I-II} , полученный на предыдущем шаге для видов деятельности (второй уровень):

$$\mathbf{X}_{I-III} = \mathbf{X}_{II-III} \times \mathbf{X}_{I-II} = [\mathbf{X}_{II-III}^{(1)} \dots \mathbf{X}_{II-III}^{(n_b)}] \times \mathbf{X}_{I-II}. \quad (1)$$

Вектор \mathbf{X}_{I-III} определяет *обобщенные* ранги (значимости) функций с учетом влияния видов деятельности на комплексный показатель безопасности системы.

Далее на *четвертом* уровне рассматриваемой иерархии каждая пара контролируемых параметров – индикаторов (критериев оценки функций) попарно сравнивается по предпочтительности для каждой функции, приведенной на третьем уровне, в результате чего строятся n_ϕ векторов значимости (приоритетов) параметров для каждой функции, т.е. матрица $\mathbf{X}_{III-IV} = [\mathbf{X}_{III-IV}^{(1)} \dots \mathbf{X}_{III-IV}^{(n_b)}]$.

Матрицы доминирования для заполнения экспертами будут иметь размерность n_π равную числу контролируемых параметров, рассматриваемых на четвертом уровне иерархии и легко могут быть построены по аналогии с приведенной выше для третьего уровня.

Далее могут быть определены *обобщенные* ранги (значимости) \mathbf{X}_{I-IV} контролируемых параметров функций с учетом видов деятельности и их влияния на состояние комплексной безопасности. С этой целью необходимо вектора приоритетов контролируемых параметров $\mathbf{X}_{III-IV} = [\mathbf{X}_{III-IV}^{(1)} \dots \mathbf{X}_{III-IV}^{(n_b)}]$, умножить справа на вектор обобщенных значимостей (приоритетов) \mathbf{X}_{I-III} , полученный для функций (1):

$$\mathbf{X}_{I-IV} = \mathbf{X}_{III-IV} \times \mathbf{X}_{I-III} = [\mathbf{X}_{III-IV}^{(1)} \dots \mathbf{X}_{III-IV}^{(n_b)}] \times \mathbf{X}_{I-III}. \quad (2)$$

Вектор \mathbf{X}_{I-IV} имеет размерность равную числу n_π контролируемых параметров (индикаторов), рассматриваемых на четвертом уровне иерархии.

С целью оперативного решения задач управления комплексной безопасностью целесообразно предварительно получить значения таких векторов для рассматриваемой системы (объекта) в различных условиях обстановки (мирное время, угрожаемый период

для военных систем), перечня контролируемых параметров, иных условий и особенностей функционирования системы (объекта).

На последующем шаге по аналогии с предыдущими шагами строятся n_{II} матриц доминирования прогнозируемых (реализуемых) угроз относительно влияния на каждый контролируемый параметр (критерий) и определяются вектора значимости (степени влияния) угроз на параметры $\mathbf{X}_{IV-V} = [\mathbf{X}_{IV-V}^{(1)} \dots \mathbf{X}_{IV-V}^{(n_{II})}]$.

Обобщенные значения опасности угроз системе в целом \mathbf{X}_{I-V} определим по формуле

$$\mathbf{X}_{I-V} = \mathbf{X}_{IV-V} \times \mathbf{X}_{I-IV} = [\mathbf{X}_{IV-V}^{(1)} \dots \mathbf{X}_{IV-V}^{(n_{II})}] \times \mathbf{X}_{I-IV}. \quad (3)$$

Размерность вектора \mathbf{X}_{I-V} равна n_y (n_y – число рассматриваемых угроз системе).

Для определения наилучшей альтернативы \mathbf{X}_{I-VI} , обеспечивающей максимальную эффективность по предупреждению угроз необходимо вектора доминирования альтернатив (мероприятий) $\mathbf{X}_{V-VI} = [\mathbf{X}_{V-VI}^{(1)} \dots \mathbf{X}_{V-VI}^{(n_y)}]$ относительно рассматриваемых (прогнозируемых) угроз умножить справа на обобщенный вектор опасности угроз \mathbf{X}_{I-V} , полученный по формуле (3).

$$\mathbf{X}_{I-VI} = \mathbf{X}_{V-VI} \times \mathbf{X}_{I-V} = [\mathbf{X}_{V-VI}^{(1)} \dots \mathbf{X}_{V-VI}^{(n_y)}] \times \mathbf{X}_{I-V}. \quad (4)$$

Таким образом, для рассматриваемой иерархии системы по формуле (4) могут быть получены оценки сравнительной эффективности альтернатив для предупреждения угроз функционированию сложной системы.

Выводы

Обоснован метод, и предложен алгоритм – последовательность и правила построения шестиуровневой иерархии процесса управления комплексной безопасностью в сложной системе, описания атрибутов модели и выполнения расчетов для определения наиболее эффективных мероприятий по предупреждению угроз функционированию системы, с применением МАИ.

Последовательное вычисление значимости элементов (атрибутов) от верхних уровней иерархии к нижним в предложенной модели позволяет количественно оценить влияние всех включенных в иерархию атрибутов на функционирование системы:

- видов деятельности рассматриваемой системы (объекта);
- выполняемых функций;
- контролируемых параметров;
- прогнозируемых угроз;
- альтернатив, оцениваемых решений, в рассматриваемом аспекте – мероприятий по предупреждению угроз.

Входной информацией предложенного алгоритма служат суждения экспертов – матрицы парных сравнений доминирования (приоритетов) атрибутов нижнего уровня с точки зрения атрибутов верхнего уровня.

МАИ дает универсальную методологическую основу для поддержки принятия решений в различных областях применения и в частности, принятия решения по выбору рациональных вариантов (планов) проведения мероприятий по предупреждению угроз. Метод позволяет формализовать процедуры количественной оценки приоритетов, ис-

пользуя как числовую информацию (статистические данные, результаты оптимизационных расчетов и пр.), так и качественную (систематические суждения экспертов), позволяет при выборе рациональных решений учесть разнородные контролируемые параметры (показатели и критерии), сценарии, воздействия многочисленных факторов.

Обоснованность решений можно обеспечить, контролируя показатели (максимальное собственное значение матриц суждений экспертов, индексы и отношения согласованности оценок) которые оценивают согласованность суждений экспертов и дают подсказку по изменению суждений при большой логической несогласованности [1-3].

Важным требованием, обеспечивающим согласованность применения МАИ, является квалификация экспертов, принимающих участие в создании структуры иерархической модели принятия решений (в нашем случае модели достаточного перечня атрибутов в иерархии системы), подготовке данных и в интерпретации результатов. Во многом обоснованность решения, принятого с помощью МАИ проблемы, связана: 1) с полнотой учета факторов, определяющих значимости атрибутов (решений), 2) с полнотой учета связей между целью ранжирования, факторами и возможными решениями, 3) адекватностью формулировок критериев для парных сравнений атрибутов тем целям, которые преследуются при построении иерархической структуры модели исследуемой системы.

Литература

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. – М.: Радио и связь. - 1989.
2. Гаенко В.П. Модифицированная процедура метода анализа иерархий для сравнительных оценок безопасности систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. М.: ВИНТИ РАН. – 2013. – № 6. – С. 98-105.
3. Гаенко В.П. Безопасность технических систем: методологические аспекты теории, методы анализа и управления безопасностью. – СПб.: СВЕН. - 2014.
4. Гаенко В.П. Метод обоснования рационального плана ликвидации последствий аварии на потенциально опасном объекте на основе применения модифицированной процедуры метода анализа иерархий // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. М.: ВИНТИ РАН. – 2016. – № 2. – С. 25-35.

Сведения об авторах

Гаенко Василий Петрович – главный научный сотрудник Научно-исследовательского центра безопасности технических систем 12 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации (НИЦ БТС 12 ЦНИИ Минобороны России), профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации. 197375, г. Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 39. Факс: (812) 303-0559, телефон: +7 911 946-6402, e-mail: gaen@mail.ru

Ковалевский Константин Владимирович – начальник НИЦ БТС 12 ЦНИИ Минобороны России, 197375, г. Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 39. Факс: (812) 303-0559, телефон: + 7 911 9841203

Кондратьев Александр Юрьевич – начальник отдела НИЦ БТС 12 ЦНИИ Минобороны России, 197375, г. Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 39. Факс: (812) 303-0559, телефон: +7 921 7744733, e-mail: Alexsertif@mail.ru