

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ И МЕТОДА АНАЛИТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аносов Р. С.¹, Аносов С. С.²

DOI: 10.21681/2311-3456-2025-6-25-34

Цель: сравнительная оценка методов анализа иерархий и аналитических сетей и их применимости для исследования систем информационной безопасности.

Метод исследования: системный анализ и принятие решений, в том числе систематизация, структуризация, декомпозиция, композиция; методы теории графов; матричное исчисление.

Результат исследования: показана применимость метода анализа иерархий и метода аналитических сетей для решения задачи выбора одного из альтернативных вариантов системы информационной безопасности. Метод аналитических сетей в сравнении с методом анализа иерархий более ресурсоемок, но позволяет нюансировано исследовать систему информационной безопасности на основе анализа взаимных влияний и зависимостей компонентов системы, обеспечивая высокую степень обоснованности решений, принимаемых по результатам анализа. Определено значение технологических показателей в исследовании системы информационной безопасности, которые, с одной стороны, характеризуют эффективность применяемых в системе технологий с точки зрения показателей качества защищаемой информации, а с другой стороны – степень реализации соответствующих технологий в системе информационной безопасности. Разработана обобщенная классификация информационных технологий и технологий обеспечения информационной безопасности, выполнена структуризация системы процессов, технологий и факторов в контексте системного анализа информационных технологий, что является основой для построения иерархических и сетевых структур при исследовании систем информационной безопасности.

Научная новизна: показано, что, в сравнении с методом анализа иерархий, метод аналитических сетей и его базовые инструменты – сети и суперматрицы – позволяют детально описать реально существующие взаимные влияния различных характеристик и свойств систем информационной безопасности и формализовать задачу оценки предпочтительности указанных систем с учетом таких влияний.

Ключевые слова: вариант системы, показатель качества, суперматрица, вектор влияния, принятие решений.

Введение

Задача формирования, оценки и выбора вариантов системы информационной безопасности (ИБ) является многокритериальной, ее решение требует учета значительного количества разнородных показателей, характеризующих различные аспекты качества [1–4]. Анализ научных публикаций свидетельствует об интенсивной деятельности в области методических подходов к исследованию различных аспектов систем ИБ, а также подходов к системному обобщению отдельных методик и моделей в форме программных комплексов и систем поддержки принятия решений [5]. Однако уровень научно-методического обеспечения обоснования требований и оценки систем ИБ, по мнению авторов, не соответствует уровню развития аналогичной методологии

для сложной машиностроительной продукции и не удовлетворяет требованиям эффективного проектирования³, что в условиях относительно высокой ресурсоемкости жизненного цикла систем ИБ порождает проблему формирования обоснованного бюджета на информационную безопасность.

Технологический аспект информационной безопасности включает как технологии защиты (рис. 1), так и информационные технологии – объекты защиты (рис. 2).

Многоуровневость и функциональная связность информационных технологий обуславливает возможность применять для системного исследования информационной безопасности методический аппарат иерархических и сетевых структур [6–8]:

1 Аносов Роман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, начальник отдела, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Россия. E-mail: an_rs@list.ru

2 Аносов Сергей Сергеевич, главный специалист, общество с ограниченной ответственностью «Газпромнефть – Цифровые решения», г. Воронеж, Россия. E-mail: serg-anosov@mail.ru

3 Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдеевский [и др.] // Т.3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.

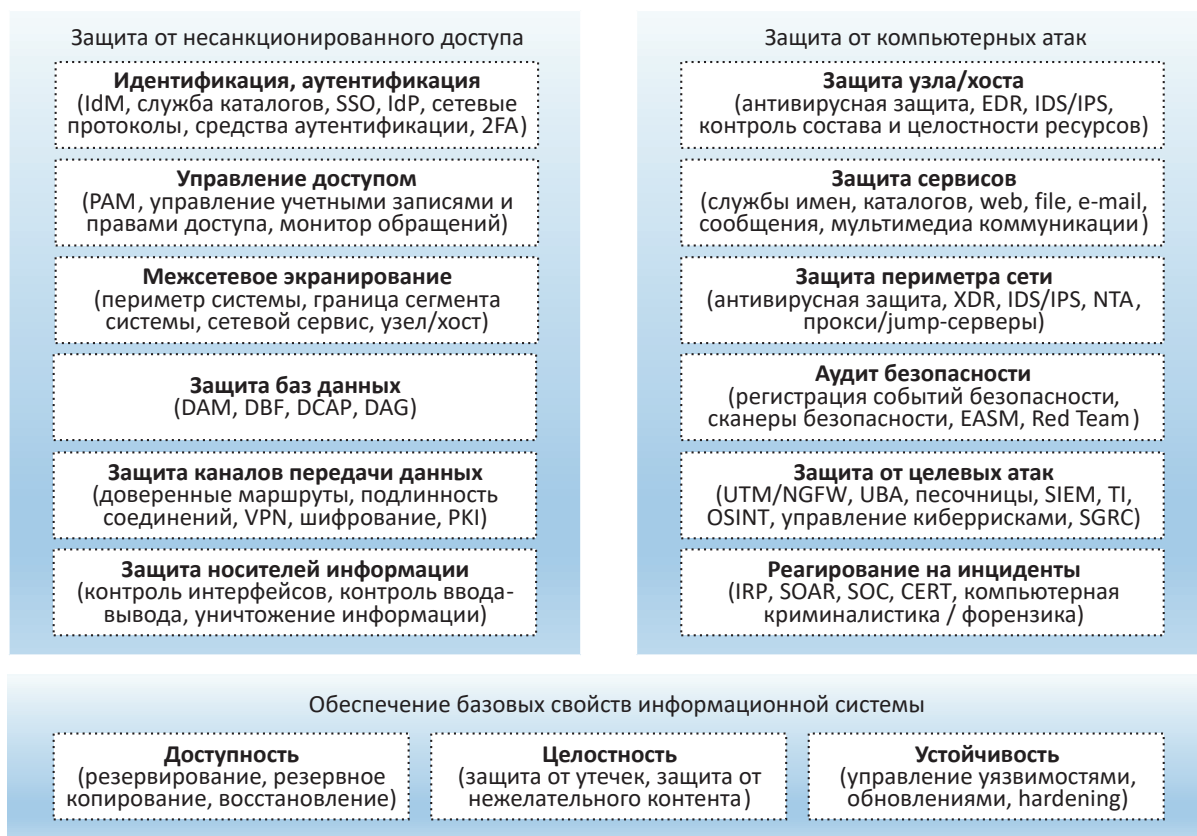


Рис. 1. Типовая обобщенная структура технологий систем ИБ

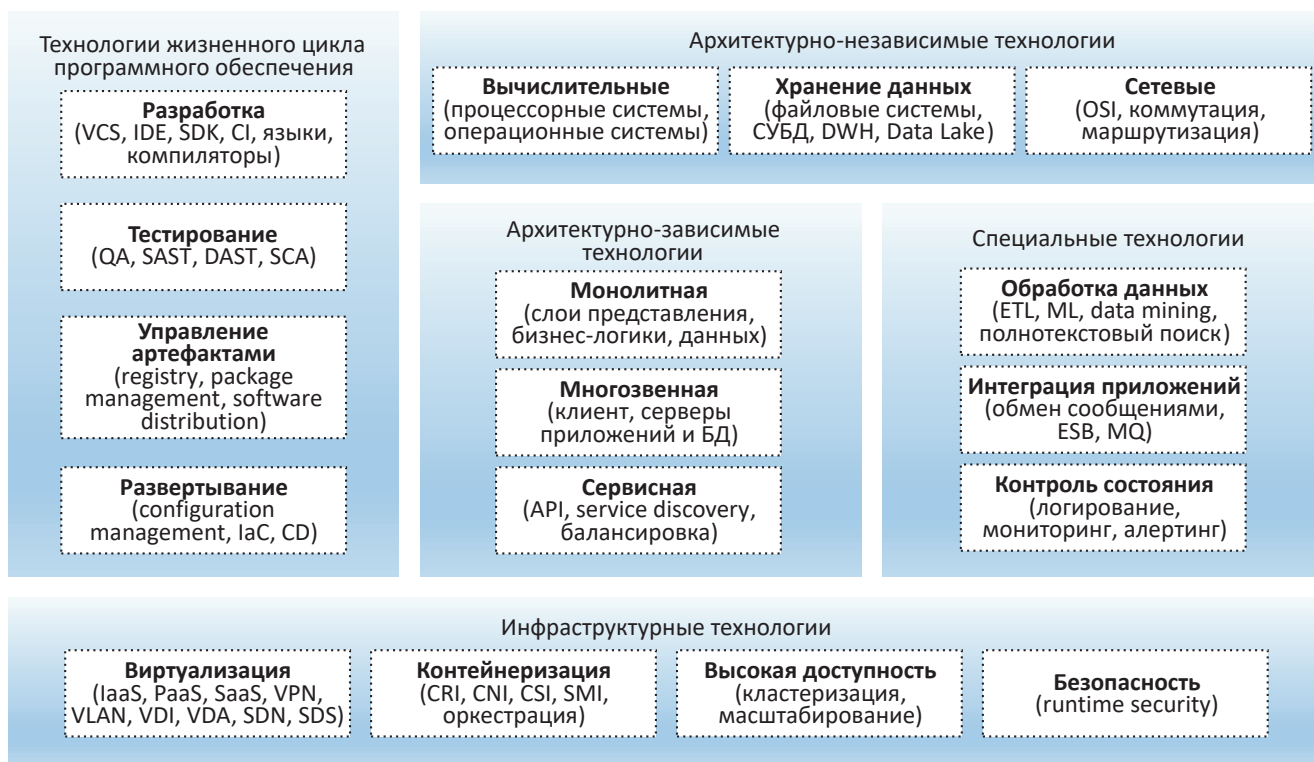


Рис. 2. Типовая обобщенная структура технологий информационных систем

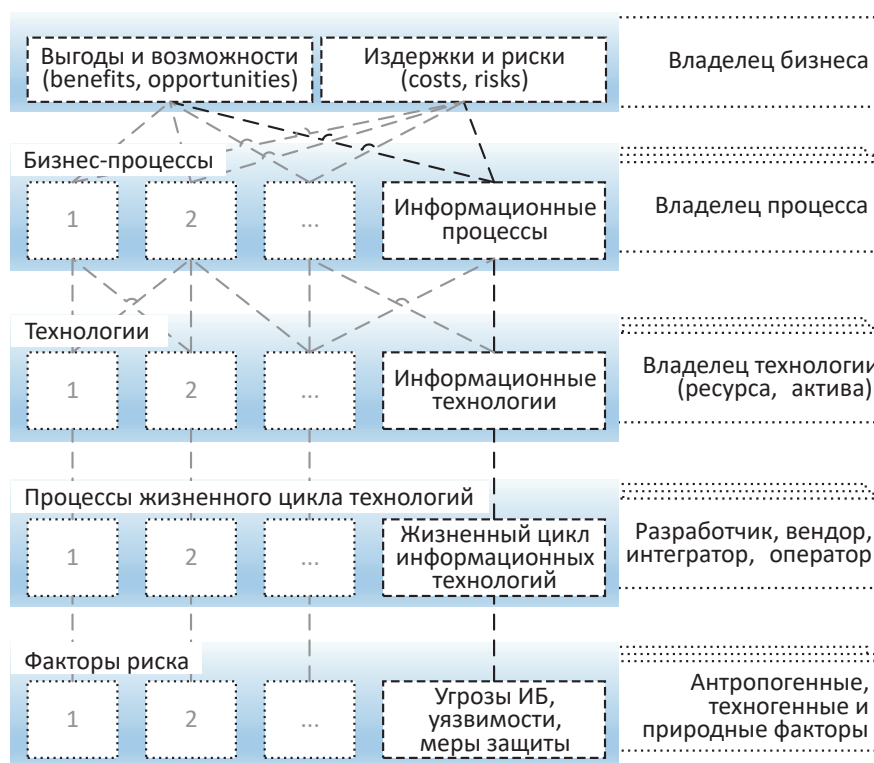


Рис. 3. Стратификация процессов, технологий и факторов в контексте системного анализа информационных технологий

- логико-вероятностный метод оценивания сложных (многоагентных) систем с использованием элементов теории множеств и графов [9];
- метаграмматический подход к структурно-параметрическому синтезу вариантов систем ИБ и метод анализа иерархий Саати для их анализа [10];
- сети Байеса на основе графа атак и когнитивные карты как средства оценки рисков ИБ⁴;
- модель информационного управления агентами в игре с несогласованными представлениями на основе линейных когнитивных карт для построения конфликтно-устойчивой системы ИБ⁵;
- теоретико-игровой подход с использованием когнитивной игры для управления рисками сложной системы на основе распределения ограниченного ресурса между ее элементами [11];
- подход к оценке киберустойчивости компьютерных сетей, основанный на аналитическом моделировании компьютерных атак с применением метода преобразования стохастических сетей⁶.

В контексте системного анализа иерархические и сетевые структуры используются как для декомпозиции систем на подсистемы, так и для их композиции в надсистемы, обеспечивая органичную связь между различными уровнями (рис. 3). В этом смысле приведенные на рисунках 1 и 2 системы технологий рассматриваются как составные компоненты (подсистемы) информационных систем, реализующих или обеспечивающих процессы бизнес-уровня.

Цель настоящей работы – рассмотреть особенности иерархического и сетевого подходов к принятию решений при оценке предпочтительности систем ИБ.

Иерархический подход

Конструктивным экспертно-аналитическим методическим аппаратом, позволяющим проводить относительные оценки предпочтительности вариантов сложных систем ИБ при их проектировании, является метод анализа иерархий (МАИ)⁷. При применении МАИ задача выбора альтернативных вариантов рассматривается как многокритериальная задача принятия решения, где разнородные частные показатели качества вариантов сворачиваются в единый обобщенный показатель в соответствии с их иерархической структурой. На рисунке 4 приведен пример иерархической структуры с **тремя** уровнями:

4 Сравнительный анализ алгоритмов когнитивного моделирования при оценке рисков информационной безопасности / М. Б. Гузаиров, А. М. Вульф-фин, В. М. Картак [и др.] // Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2019. – Т. 69, № 4. – С. 62–69.

5 Куливец С. Г. Модель информационного управления на основе игры на линейной когнитивной карте / С. Г. Куливец, Н. А. Коргин // Управление большими системами: сборник трудов. – 2011. – № 35. – С. 94–113.

6 Оценка киберустойчивости компьютерных сетей на основе моделирования кибератак методом преобразования стохастических сетей / И. В. Котенко, И. Б. Саенко, М. А. Коцыняк, О. С. Лаута // Труды СПИИРАН. – 2017. – № 6(55). – С. 160–184

7 Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. – 314 с. Саати Т. Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

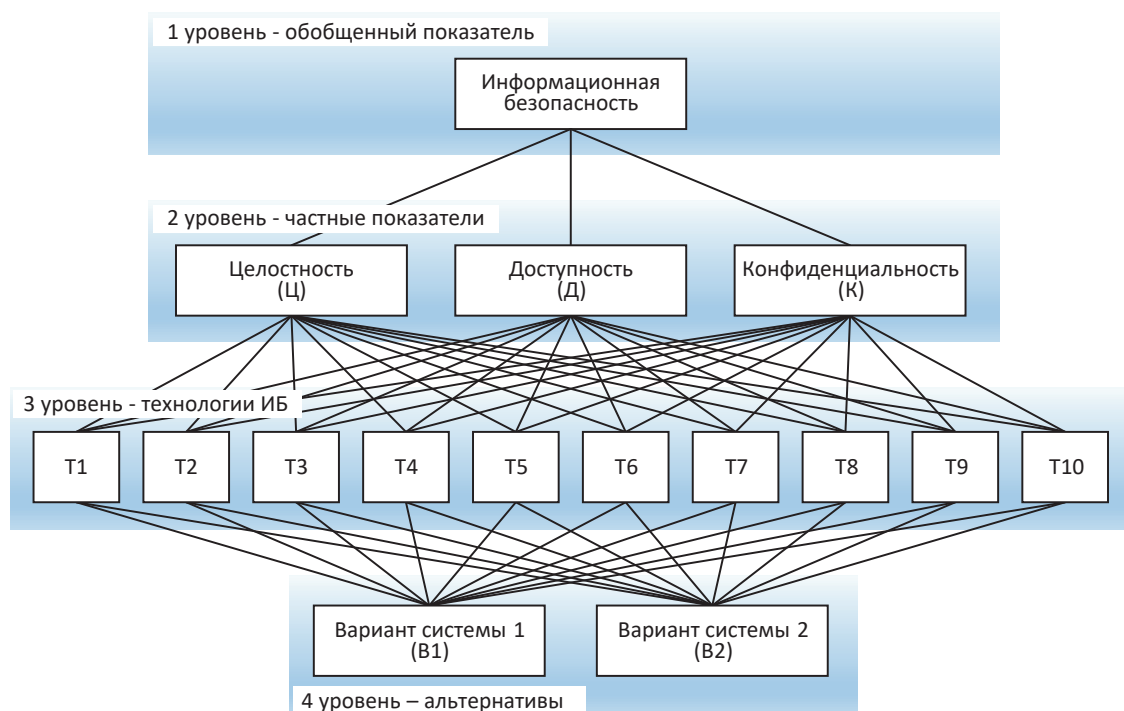


Рис. 4. Иерархическое представление задачи сравнения альтернативных вариантов системы ИБ

- **первый (верхний) уровень** – обобщенный показатель качества;
- **второй уровень** – частные показатели качества;
- **третий уровень** – технологические показатели.

Нижний уровень иерархии представлен вариантами системы (альтернативами).

Подобное сведение взаимозависимых сущностей в иерархическую структуру с единственным обобщенным (глобальным) показателем в вершине позволяет:

- сформировать альтернативы, сбалансированные по совокупности свойств и характеристик в соответствии с их важностью относительно обобщенного показателя (задача синтеза);
- выбрать альтернативу, наиболее предпочтительную по совокупности частных показателей и обладающую наилучшим значением обобщенного показателя (задача анализа).

Возможность обоснованной компенсации низкого (недостаточного) уровня одного из свойств (значения одной из характеристик) создаваемой системы ИБ повышением уровня других ее свойств (значений других характеристик), в том числе конфликтующих с первыми, является несомненным преимуществом МАИ. Во многих сложных технико-экономических задачах смысл заключен в оптимизации не столько абсолютных значений величин, сколько их соотношений.

Процедура оценки альтернативных вариантов по обобщенному показателю включает следующие этапы.

На **первом этапе** элементы каждого уровня иерархии попарно сравниваются между собой по отношению к элементам вышестоящего уровня с использованием шкалы предпочтения (принята шкала от 1 до 10). В случае иерархии, приведенной на рисунке 4, сравнения проводятся относительно третьего, второго и первого уровня иерархии. Результаты попарных сравнений записываются в форме квадратных матриц, примеры которых приведены на рисунках 5–7. Координаты собственных векторов матриц v являются величинами относительной важности (предпочтительности, приоритетности) сравниваемых элементов по отношению к соответствующему элементу вышестоящего уровня иерархии.

ИБ	Ц	Д	К	v
Ц	1	1/5	1/2	0,128
Д	5	1	2	0,595
К	2	1/2	1	0,277

Рис. 5. Матрица сравнений элементов второго уровня иерархии относительно обобщенного показателя (ИБ)

На **втором этапе** для каждого уровня иерархии формируются матрицы, столбцами которых являются собственные векторы матриц попарных сравнений элементов соответствующего уровня. В рассматриваемом случае при сравнении относительно третьего уровня формируется матрица W_{43} :

Ц	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>T6</i>	<i>T7</i>	<i>T8</i>	<i>T9</i>	<i>T10</i>	ν
<i>T1</i>	1	2	9	9	9	2	3	7	5	3	0,271
<i>T2</i>	1/2	1	9	9	9	5	4	3	5	3	0,245
<i>T3</i>	1/9	1/9	1	1	1	1/4	1/2	3	2	4	0,049
<i>T4</i>	1/9	1/9	1	1	1	1/10	1/10	1/8	5	8	0,033
<i>T5</i>	1/9	1/9	1	1	1	1/5	1/2	4	2	3	0,048
<i>T6</i>	1/2	1/5	4	10	5	1	2	6	4	2	0,146
<i>T7</i>	1/3	1/4	2	10	2	1/2	1	2	6	4	0,107
<i>T8</i>	1/7	1/3	1/3	8	1/4	1/6	1/2	1	7	6	0,055
<i>T9</i>	1/5	1/5	1/2	1/5	1/2	1/4	1/6	1/7	1	2	0,024
<i>T10</i>	1/3	1/3	1/4	1/8	1/3	1/2	1/4	1/6	1/2	1	0,022

Д	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>T6</i>	<i>T7</i>	<i>T8</i>	<i>T9</i>	<i>T10</i>	ν
<i>T1</i>	1	1	1/10	1/10	1/10	1/2	1	1	1/5	1/5	0,02
<i>T2</i>	1	1	1/10	1/10	1/10	1/2	1	1	1/10	1/10	0,017
<i>T3</i>	10	10	1	3	5	9	9	5	7	5	0,32
<i>T4</i>	10	10	1/3	1	1/5	9	9	1	2	1	0,119
<i>T5</i>	10	10	1/5	5	1	9	9	3	5	7	0,232
<i>T6</i>	2	2	1/9	1/9	1/9	1	1/10	1/10	1/10	1/10	0,014
<i>T7</i>	1	1	1/9	1/9	1/9	10	1	1/10	1/10	1/10	0,019
<i>T8</i>	1	1	1/5	1	1/3	10	10	1	1	1	0,071
<i>T9</i>	5	10	1/7	1/2	1/5	10	10	1	1	1	0,091
<i>T10</i>	5	10	1/5	1	1/7	10	10	1	1	1	0,097

К	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>T6</i>	<i>T7</i>	<i>T8</i>	<i>T9</i>	<i>T10</i>	ν
<i>T1</i>	1	2	9	9	9	1	1/6	1/5	1/5	1/5	0,068
<i>T2</i>	1/2	1	1	2	2	1	1/10	1/5	1/5	1/5	0,034
<i>T3</i>	1/9	1	1	1	2	1	1/10	1/10	1/10	1/10	0,022
<i>T4</i>	1/9	1/2	1	1	1	3	1/5	1/10	1/10	1/10	0,023
<i>T5</i>	1/9	1/2	1/2	1	1	2	1/5	1/10	1/10	1/10	0,02
<i>T6</i>	1	1	1	1/3	1/2	1	1/3	1/5	1/5	1/5	0,029
<i>T7</i>	6	10	10	5	5	3	1	1	1	1	0,186
<i>T8</i>	5	5	10	10	10	5	1	1	1	1	0,206
<i>T9</i>	5	5	10	10	10	5	1	1	1	1	0,206
<i>T10</i>	5	5	10	10	10	5	1	1	1	1	0,206

Рис. 6. Матрицы сравнений элементов третьего уровня иерархии относительно частных показателей (Ц, Д, К)

T1	<i>B1</i>	<i>B2</i>	ν	T2	<i>B1</i>	<i>B2</i>	ν	T3	<i>B1</i>	<i>B2</i>	ν
<i>B1</i>	1	5	0,833	<i>B1</i>	1	6	0,857	<i>B1</i>	1	7	0,875
<i>B2</i>	1/5	1	0,167	<i>B2</i>	1/6	1	0,143	<i>B2</i>	1/7	1	0,125
T4	<i>B1</i>	<i>B2</i>	ν	T5	<i>B1</i>	<i>B2</i>	ν	T6	<i>B1</i>	<i>B2</i>	ν
<i>B1</i>	1	1/3	0,25	<i>B1</i>	1	9	0,9	<i>B1</i>	1	7	0,875
<i>B2</i>	3	1	0,75	<i>B2</i>	1/9	1	0,1	<i>B2</i>	1/7	1	0,125
T7	<i>B1</i>	<i>B2</i>	ν	T8,9	<i>B1</i>	<i>B2</i>	ν	T10	<i>B1</i>	<i>B2</i>	ν
<i>B1</i>	1	1/4	0,2	<i>B1</i>	1	1	0,5	<i>B1</i>	1	1/4	0,2
<i>B2</i>	4	1	0,8	<i>B2</i>	1	1	0,5	<i>B2</i>	4	1	0,8

Рис. 7. Матрицы сравнений альтернатив (*B1*, *B2*) по технологическим показателям (*T1-T10*)

$$W_{43} = \begin{vmatrix} 0,833 & 0,857 & 0,875 & 0,25 & 0,9 & 0,875 & 0,2 & 0,5 & 0,5 & 0,2 \\ 0,167 & 0,143 & 0,125 & 0,75 & 0,1 & 0,125 & 0,8 & 0,5 & 0,5 & 0,8 \end{vmatrix},$$

относительно второго уровня – матрица W_{32} :

$$W_{32}^T = \begin{vmatrix} 0,271 & 0,245 & 0,049 & 0,033 & 0,048 & 0,146 & 0,107 & 0,055 & 0,024 & 0,022 \\ 0,02 & 0,017 & 0,32 & 0,119 & 0,232 & 0,014 & 0,019 & 0,071 & 0,091 & 0,097 \\ 0,068 & 0,034 & 0,022 & 0,023 & 0,02 & 0,029 & 0,186 & 0,206 & 0,206 & 0,206 \end{vmatrix},$$

относительно первого уровня – матрица W_{21} :

$$W_{21}^T = \begin{vmatrix} 0,128 & 0,595 & 0,277 \end{vmatrix}.$$

На **третьем этапе** путем аддитивной свертки на иерархии (последовательного умножения матриц собственных векторов, построенных для каждого уровня иерархии), получим вектор W_{41} , координаты которого представляют относительные приоритеты сравниваемых вариантов систем ИБ по обобщенному показателю:

$$W_{41}^T = (W_{43} W_{32} W_{21})^T = \begin{vmatrix} 0,61 & 0,39 \end{vmatrix}.$$

Полученный результат трактуется следующим образом: относительная предпочтительность вариантов систем с точки зрения ИБ составляет 0,61 (вариант 1) и 0,39 (вариант 2).

Сетевой подход

Приведенная на рисунке 4 иерархия в ряде случаев оказывается достаточно упрощенной моделью с односторонними связями между элементами соседних уровней. Обратные связи между элементами разных уровней и горизонтальные связи между элементами одного уровня отсутствуют. Во многих задачах принятия решений элементы не поддаются такому линейному упорядочиванию, образуя сеть⁸. На рисунке 8 приведен пример сетевой структуры, элементы e которой сгруппированы в компоненты C (по аналогии с группировкой элементов иерархии по уровням). Стрелками обозначено влияние на уровне компонентов, а влияние элементов e подразумевается. Подобная расширяемость сетевого

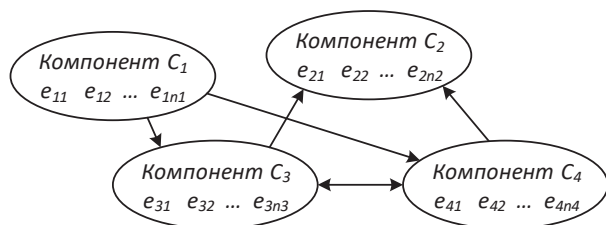


Рис. 8. Сетевая структура

представления позволяет использовать его для анализа вложенных структур, допускающих множество уровней абстракции. В контексте информационных технологий это означает, что компонент C может быть рассмотрен как некоторая технология, а вложенные в него элементы e – как совокупность технологий нижестоящего уровня.

Математическую формализацию задач принятия решений на основе сетевых структур предлагает метод аналитических сетей (МАС), являющийся обобщением метода анализа иерархий. МАС предполагает оценку приоритетности каждого элемента сети относительно всех других элементов по некоторому общему критерию на основе построения блочных матриц, образующих суперматрицу W стохастического типа:

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_m \end{matrix} & \begin{vmatrix} \begin{matrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1n1} \end{matrix} & \begin{matrix} e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2n2} \end{matrix} & \dots & \begin{matrix} e_{m1} & e_{m2} & \dots & e_{mnm} \end{matrix} \\ \begin{matrix} e_{11} \\ e_{12} \\ \dots \\ e_{1n1} \end{matrix} & W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1m} \\ \begin{matrix} e_{21} \\ e_{22} \\ \dots \\ e_{2n2} \end{matrix} & W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \begin{matrix} e_{m1} \\ e_{m2} \\ \dots \\ e_{mn1} \end{matrix} & W_{m1} & W_{m2} & \dots & W_{mm} \end{vmatrix} \end{matrix},$$

где W_{ij} – матрицы собственных векторов v (векторов приоритетов или векторов влияния), сформированных на основе попарных сравнений между собой элементов одного компонента (диагональные блоки) и элементов различных компонентов (недиагональные блоки); $i = 1 \dots m, j = 1 \dots m$; m – количество компонентов сети.

Каждый столбец матрицы W_{ij} представляет собой вектор влияния v элементов i -го компонента (записанных слева как имена строк) на элемент j -го компонента (записанный сверху как имя столбца). Матрицы W_{ij} стохастические по столбцам, а суперматрица W приводится к стохастическому виду за счет взвешивания блоков W_{ij} в соответствии с приоритетами компонентов сети. Веса блоков,

⁸ Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети. Пер. с англ. / Науч. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 360 с.

в свою очередь, вычисляются на основе попарных сравнений компонентов, записанных в суперматрице слева, по степени влияния на компонент, записанный сверху, на основе критерия более высокого уровня по отношению к критерию, используемому при сравнении элементов. Таким образом формулируются не только влияния между элементами, но и влияния между сущностями более высокого уровня – компонентами сети.

Упомянутое свойство стохастичности суперматрицы W необходимо для сходимости последовательности ее степеней W^k , которая описывает поэтапное распространение влияния в сети вплоть до достижения предельного вектора влияния элементов.

Рассмотрим примеры использования МАС для иерархии и для сети.

Суперматрица для иерархии

Суперматрица W первой степени для рассматриваемой на рисунке 4 иерархии представляет собой запись матриц W_{21} , W_{32} , W_{43} в виде блоков, которые характеризуют влияния элементов одного уровня на элементы другого (соседнего) уровня ($2 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 2$, $4 \rightarrow 3$, где «4» означает уровень альтернатив):

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ W_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_{43} & A \end{pmatrix}.$$

Нулевые матрицы-блоки W_{11} , W_{22} , W_{33} означают отсутствие горизонтальных связей между элементами отдельного компонента (уровня), W_{12} , W_{23} , W_{34} – отсутствие вертикальных обратных связей между элементами соседних уровней, W_{31} , W_{41} , W_{42} , W_{13} , W_{14} , W_{24} – отсутствие вертикальных связей между элементами уровней, не являющихся соседними. Единица матрица A обеспечивает стохастичность суперматрицы W .

Вторая степень суперматрицы характеризует влияния элементов «через уровень» ($3 \rightarrow 1$, $4 \rightarrow 2$):

$$W^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ W_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_{43} & A \end{pmatrix}^2 =$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ W_{32} W_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_{43} W_{32} & A W_{43} & A^2 \end{pmatrix}.$$

Третья степень суперматрицы характеризует влияния «через два уровня» ($4 \rightarrow 1$) и для рассматриваемой трехуровневой иерархии является предельной, то есть суперматрица приобретает устойчивую форму:

$$W^3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ W_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_{43} & A \end{pmatrix}^3 =$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ W_{43} W_{32} W_{21} & A W_{43} W_{32} & A^2 W_{43} & A^3 \end{pmatrix}.$$

Блок $W_{41} = W_{43} W_{32} W_{21}$ в левом нижнем углу суперматрицы W^3 показывает степени влияния альтернатив (элементов четвертого уровня) на величину обобщенного показателя (элемент первого уровня), что в терминах МАИ означает предпочтительность альтернатив.

Суперматрица для сети

Модифицируем приведенную на рисунке 4 иерархию.

На уровне частных показателей (уровне 2):

- добавим связь от элемента «Конфиденциальность» к элементу «Целостность», отражающую положительное влияние уровня конфиденциальности на уровень целостности (ограниченный доступ к информационному ресурсу способствует сохранению его целостности);
- относительное влияние элементов «Конфиденциальность» и «Доступность» на элемент «Целостность» будем характеризовать вектором (1;0).

На уровне технологических показателей (уровне 3):

- добавим связи от элементов Т3 и Т4 к элементу Т5, отражающими положительное влияние одной технологии на другую (например, необходимость для реализации или повышение эффективности);
- допустим равноценное влияние элементов Т3 и Т4 на элемент Т5, характеризующееся вектором (0,5;0,5).

Суперматрица модифицированной иерархии приведена на рисунке 9:

- помимо рассмотренных ранее блоков W_{21} , W_{32} , W_{43} , ненулевыми стали блоки W_{22} и W_{33} , отражающие межэлементные связи на втором и третьем уровне;
- с целью приведения к стохастической форме выполнена нормировка по столбцам (выделены жирным шрифтом) путем умножения элементов столбца на весовой коэффициент блока;
- весовые коэффициенты блоков W_{22} , W_{32} и блоков W_{33} , W_{43} приняты равными 0,5 в допущении равноценности влияния элементов одного уровня на элементы другого уровня и взаимного влияния элементов одного уровня.

Предельная форма суперматрицы приведена на рисунке 10.

		1				3										4	
		ИБ	Ц	Д	К	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	B1	B2
W =	1 ИБ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ц	0,128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 Д	0,595	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	К	0,277	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T1	0	0,135	0,02	0,068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T2	0	0,122	0,017	0,034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T3	0	0,025	0,32	0,022	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0
	T4	0	0,017	0,119	0,023	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0
	3 T5	0	0,024	0,232	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T6	0	0,072	0,014	0,029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	T7	0	0,054	0,019	0,186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T8	0	0,028	0,071	0,206	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T9	0	0,012	0,091	0,206	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T10	0	0,011	0,097	0,206	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B1	0	0	0	0	0,833	0,857	0,875	0,25	0,45	0,875	0,2	0,5	0,5	0,2	1	0
	B2	0	0	0	0	0,167	0,143	0,125	0,75	0,05	0,125	0,8	0,5	0,5	0,8	0	1

Рис. 9. Суперматрица модифицированной задачи сравнения альтернативных вариантов системы ИБ (степень $k = 1$)

		1				3										4	
		ИБ	Ц	Д	К	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	B1	B2
W ⁴ =	1 ИБ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ц	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2 Д	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	К	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3 T5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	T7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B1	0.567	0.574	0.627	0.435	0.833	0.857	0.875	0.25	0.731	0.875	0.2	0.5	0.5	0.2	1	0
	B2	0.433	0.426	0.373	0.565	0.167	0.143	0.125	0.75	0.269	0.125	0.8	0.5	0.5	0.8	0	1

Рис. 10. Предельная форма суперматрицы (степень $k = 4$)

Переход от иерархии к сетевой структуре, учитывающей влияние показателя «Конфиденциальность» на показатель «Целостность» и влияние технологий T3, T4 на технологию T5, привел к удлинению маршрутов влияния, увеличению предельной степени k суперматрицы и изменению предпочтительности альтернатив – уменьшению предпочтительности

варианта 1 (с 0,61 до 0,57) и увеличению предпочтительности варианта 2 (с 0,39 до 0,43).

Рассмотренный пример показывает адекватность МАС в более сложных по сравнению с иерархическими структурами случаях. Возможность более детального описания взаимодействий между элементами в сетевой структуре повышает обоснованность решений.

Заключение

1. В основе рассмотренного подхода к оценке системы информационной безопасности находится ее представление в форме расширяемой сети отдельных технологических решений. Такое представление соответствует архитектурной особенности информационных технологий – множественности уровней абстракции – и позволяет организовать процесс экспертизы информационной системы на основе метода аналитических сетей. Базовые абстракции МАС – сети и суперматрицы – корректно моделируют взаимные влияния компонентов и показателей сложной многоуровневой системы ИБ.

2. Существуют задачи, в которых взаимные влияния формализуются введением дополнительных (обратных) связей (циклов) между элементами сети. При наличии циклов предельные степени суперматрицы могут достигать значений $k = 40...60$ и более, а результаты возведения в степень могут не сходиться к одной матрице, например, могут существовать две

чередующиеся предельные формы суперматрицы. Тогда оценивается предел среднего значения последовательности $\lim_{k \rightarrow \infty} (1/N) \sum_{k=1}^N W^k$, называемого че-заровской суммой.

3. Зависимости между элементами сети могут рассматриваться как очевидные – выгоды или издержки, а также иметь вероятностную природу – возможности и риски. При этом приоритеты элементов сети для «невыгодного» влияния оцениваются исходя из принципа: большим приоритетом обладает более «опасный» элемент, приводящий к большему «невыгодному» влиянию. Выгоды, издержки, возможности и риски оцениваются отдельно, на различных структурах, с получением четырех различных ранжирований заданного набора альтернатив. Затем производится мультипликативный или аддитивный синтез приоритетов альтернатив с соответствующей инверсией приоритетов, полученных с применением структур «невыгодного» влияния – издержек и рисков.

Литература

1. Кибербезопасность цифровой индустрии. Теория и практика функциональной устойчивости к кибератакам / Д. П. Зегжда, Е. Б. Александрова, М. О. Калинин [и др.]. – М.: Научно-техническое издательство «Горячая линия-Телеком», 2021. – 560 с.
2. Язов Ю. К. Методология оценки эффективности защиты информации в информационных системах от несанкционированного доступа / Ю. К. Язов, С. В. Соловьев. – Санкт-Петербург: Издательство «Наукоемкие технологии», 2023. – 258 с.
3. Костогрызов А. И. О моделях и методах вероятностного анализа защиты информации в стандартизованных процессах системной инженерии / А. И. Костогрызов // Вопросы кибербезопасности. – 2022. – №6(52). – С. 71-82. – DOI 10.21681/2311-3456-2022-6-71-82.
4. Костогрызов А. И. Обзор стандартизованных риск-ориентированных методов и моделей для обеспечения гарантий качества системы / А. И. Костогрызов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2022. – Т. 18, №3. – С. 483-495. – DOI 10.25559/SITITO.18.202203.483-495.
5. Состояние и перспективы развития методического обеспечения технической защиты информации в информационных системах / С. В. Соловьев, М. А. Тарелкин, В. В. Текунов, Ю. К. Язов // Вопросы кибербезопасности. – 2023. – № 1(53). – С. 41-57. – DOI 10.21681/2311-3456-2023-1-41-57.
6. Стародубцев Ю. И. Структурно-функциональная модель киберпространства / Ю. И. Стародубцев, П. В. Закалкин, С. А. Иванов // Вопросы кибербезопасности. – 2021. – № 4(44). – С. 16-24. – DOI 10.21681/2311-3456-2021-4-16-24.
7. Аносов С. С. Оценка информационного риска методом декомпозиции и анализа сетевых и иерархических структур / С. С. Аносов, И. Ю. Шахалов // Безопасные информационные технологии: Сборник трудов Одиннадцатой международной научно-технической конференции, Москва, 06–07 апреля 2021 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (Москва), 2021. – С. 20–26.
8. Классификация информационных технологий / В. Н. Волкова, А. Ю. Васильев, А. А. Ефремов [и др.] // Прикладная информатика. – 2015. – Т. 10, № 5(59). – С. 124–141.
9. Применение логико-вероятностного метода в информационной безопасности (Часть 1) / А. О. Калашников, К. А. Бугайский, Д. С. Бирин [и др.] // Вопросы кибербезопасности. – 2023. – № 4(56). – С. 23–32. – DOI 10.21681/2311-3456-2023-4-23-32.
10. Метаграмматический подход анализа иерархий для синтеза систем безопасности атомных электростанций / О. И. Атакищев, В. Г. Грибунин, И. Л. Борисенков, М. Н. Лысачев // Вопросы кибербезопасности. – 2023. – № 1(53). – С. 82–92. – DOI 10.21681/2311-3456-2023-1-82-92.
11. Калашников А. О. Управление информационными рисками сложной системы с использованием механизма «когнитивной игры» / А. О. Калашников, Е. В. Аникина // Вопросы кибербезопасности. – 2020. – № 4(38). – С. 2–10. – DOI 10.21681/2311-3456-2020-04-2-10.

APPLICATION OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS AND ANALYTIC NETWORK PROCESS TO ASSESSMENT PRIORITIES OF INFORMATION SECURITY SYSTEMS

Anosov R. S.⁹, Anosov S. S.¹⁰

Keywords: variant of system, quality indicator, supermatrix, influence vector, decision-making.

Purpose of the study: comparative assessment of the analytic hierarchy process and the analytic network process and their applicability to the study of information security systems

Research method: system analysis and decision-making, including systematization, structurization, decomposition, composition; graph theory methods; matrix calculus

Result: applicability of the analytic hierarchy process and the analytic network process for solving the problem of choosing one of the alternative variants of the information security system is shown. The analytic network process is more resource-intensive in comparison with the analytic hierarchy process, but it allows for a nuanced study of the information security system based on the analysis of mutual influences and interdependencies of system components, ensuring a high degree of validity of decisions made based on the analysis results. The significance of technological indicators in the study of the information security system is determined, which, on the one hand, characterize the efficiency of the information security technologies used in the system in the context of protected information quality, and on the other hand, the degree of implementation of the corresponding technologies in the information security system. A generalized classification of information technologies and information security technologies has been developed, the structuring of the system of processes, technologies and factors in the context of the system analysis of information technologies has been carried out, which serves as a foundation for building hierarchical and network structures when researching information security systems.

Scientific novelty: it is shown that, in comparison with the hierarchy-centric model, the network-centric model and its basic tools – networks and supermatrices – allow for a detailed description of the actual mutual influences of various characteristics and properties of information security systems and to formalize the problem of assessment priorities of these systems taking into account such influences.

References

1. Kiberbezopasnost' cifrovoy industrii. Teoriya i praktika funktsional'noy ustojchivosti k kiberatakam / D. P. Zegzhda, E. B. Aleksandrova, M. O. Kalinin [i dr.]. – M.: Nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo «Gorjachaja liniya-Telekom», 2021. – 560 s. – ISBN 978-5-9912-0827-7. – EDN BLBTDA.
2. Jazov Ju. K. Metodologija ocenki jeffektivnosti zashhity informacii v informacionnyh sistemah ot nesankcionirovannogo dostupa / Ju. K. Jazov, S. V. Solov'ev. – Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo «Naukoemkie tehnologii», 2023. – 258 s. – ISBN 978-5-907618-36-7. – EDN WVCHKW.
3. Kostogryzov A. I. O modeljah i metodah veroyatnostnogo analiza zashhity informacii v standartizovannyh processah sistemnoj inzhenerii / A. I. Kostogryzov // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2022. – № 6(52). – S. 71–82. – DOI 10.21681/2311-3456-2022-6-71-82. – EDN SGNKNH.
4. Kostogryzov A. I. Obzor standartizovannyh risk-orientirovannyh metodov i modelej dlja obespechenija garantij kachestva sistemy / A. I. Kostogryzov // Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie. – 2022. – T. 18, №3. – S. 483–495. – DOI 10.25559/SITITO.18.202203.483-495. – EDN PAPJTZ.
5. Sostojanie i perspektivy razvitiya metodicheskogo obespechenija tehnicheckoj zashhity informacii v informacionnyh sistemah / S. V. Solov'ev, M. A. Tarelkin, V. V. Tekunov, Ju. K. Jazov // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2023. – № 1(53). – S. 41–57. – DOI 10.21681/2311-3456-2023-1-41-57. – EDN XAZKQT.
6. Starodubcev Ju. I. Strukturno-funktsional'naja model' kiberprostranstva / Ju. I. Starodubcev, P. V. Zakalkin, S. A. Ivanov // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2021. – № 4(44). – S. 16–24. – DOI 10.21681/2311-3456-2021-4-16-24. – EDN BIXMGD.
7. Anosov S. S. Ocenka informacionnogo riska metodom dekompozicii i analiza setevykh i ierarhicheskikh struktur / S. S. Anosov, I. Ju. Shahalov // Bezopasnye informacionnye tehnologii: Sbornik trudov Odinnadcatoj mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Moskva, 06-07 aprelya 2021 goda. – Moskva: Moskovskij gosudarstvennyj tehnicheckij universitet imeni N. Je. Baumana (nacional'nyj issledovatel'skij universitet) (Moskva), 2021. – S. 20–26. – EDN MYDQAT.
8. Klassifikacija informacionnyh tehnologij / V. N. Volkova, A. Ju. Vasil'ev, A. A. Efremov [i dr.] // Prikladnaja informatika. – 2015. – T. 10, № 5(59). – S. 124–141. – EDN UQFFCV.
9. Primenenie logiko-veroyatnostnogo metoda v informacionnoj bezopasnosti (Chast' 1) / A. O. Kalashnikov, K. A. Bugajskij, D. S. Birin [i dr.] // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2023. – № 4(56). – S. 23–32. – DOI: 10.21681/2311-3456-2023-4-23-32. – EDN GIHSBN.
10. Metagrammaticheskij podhod analiza ierarhij dlja sinteza sistem bezopasnosti atomnykh jelektrostantsij / O. I. Atakishhev, V. G. Gribunin, I. L. Borisenkov, M. N. Lysachev // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2023. – № 1(53). – S. 82–92. – DOI 10.21681/2311-3456-2023-1-82-92. – EDN XVBJDM.
11. Kalashnikov A.O. Upravlenie informacionnymi riskami slozhnoj sistemy s ispol'zovaniem mehanizma "kognitivnoj igry" / A.O. Kalashnikov, E.V. Anikina // Voprosy kiberbezopasnosti. – 2020. – №4(38). – S. 2-10. – DOI 10.21681/2311-3456-2020-04-2-10. – EDN BGGXVW.

⁹ Roman Anosov, Ph.D., Associate Professor, Military Training and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin». Voronezh, Russia. E-mail: an_rs@list.ru

¹⁰ Sergey Anosov, Limited Liability Company «Gazpromneft – Digital Solutions». Voronezh, Russia. E-mail: serg-anosov@mail.ru