

УДК 007.51, 303.732

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.40.1.030](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.40.1.030)

## Синтез модели получения характеристик эффективности комплексной системы безопасности на базе метода анализа иерархий

А.В. Лубенцов✉

*Воронежский институт ФСИН России, Воронеж, Российская Федерация  
lubensov@mail.ru✉*

**Резюме.** Работа посвящена системному анализу проблем синтеза комплексных систем безопасности. Представлен анализ подходов к оценке эффективности систем безопасности. Разбираются основные критерии эффективности и параметры функционирования комплексных систем безопасности, предложен их системный анализ. Получен результат анализа требований к эффективности и анализ задач эффективности систем безопасности. Определены основные целевые функции комплексных систем безопасности. Обосновывается положение о технической и экономической эффективности. Оценка этих функций по представленным параметрам. Приводится системный анализ определения термина «эффективность» в руководящих документах. Обоснована оптимальность использования Метода Анализа Иерархий. Доказано, что в Методе Анализа Иерархий достаточно много субъективизма, и предложено его уменьшить. Оригинальный метод делится на две части: первая – субъективная (выбор критериев и решений и их ранжирование); вторая – объективная (расчет параметров влияния и элементов матриц), не зависящая от решений человека. В реализации первой части метода результаты сильно зависят от лица, принимающего решение. Предложен модифицированный (каскадный) метод анализа иерархий, изложена модель расчетов. В этом случае образуются 3 группы: независимые эксперты, руководители объекта и пользователи (специалисты, эксплуатирующие объект после внедрения). Они совместно выбирают список решений (модификаций) и список критериев, но ранжирование каждая группа проводит по-своему, и матрицы каждая группа составляет на свое усмотрение. Обосновано приоритетное применение каскадного метода анализа иерархий. Приводятся обобщающие выводы по рассмотренным характеристикам.

**Ключевые слова:** безопасность, риск, характеристики эффективности, метод анализа иерархий, целевая функция системы безопасности.

**Для цитирования:** Лубенцов А.В. Системный анализ модели получения характеристик эффективности комплексной системы безопасности. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2023;11(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1266> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.40.1.030

## Synthesis of a model for obtaining performance characteristics of an integrated security system based on the analytic hierarchy process

A.V. Lubentsov✉

*Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh,  
Russian Federation  
lubensov@mail.ru✉*

**Abstract.** The study regards the system analysis of the issues related to the synthesis of complex security systems. The analysis of the approaches to evaluating the efficiency of security systems is presented. Main efficiency criteria and the parameters of complex system operation are discussed; their system

analysis is proposed. The result of the performance specification analysis and the analysis of security system efficiency objectives are presented. The key objective functions of complex security systems are defined. The concept of technical and economic efficiency is substantiated. The functions are evaluated by the predefined parameters. System analysis of the notion of ‘efficiency’ in regulation documents is given. An argument for the optimality of using analytic hierarchy process is presented. It has been proved that analytic hierarchy process tends to be subjective, and its reduction is suggested. The original method consists of two parts: the first one is subjective (selection of the criteria and the solutions along with ranking); the second one is objective (calculation of impact parameters and matrix elements) which is not affected by the decisions of a human being. When implementing the first part, the results depend heavily on the decision-maker. The modified (cascaded) analytic hierarchy process is proposed, the calculation model is described. In this instance, three groups of experts are developed: independent experts, facility managers and users (specialists who operate the facility after its implementation). They jointly select the list of solutions (modification) and the list of criteria, but the ranking is carried out by each group individually and the matrices are built by each group at their own discretion. The rationale for the preferred use of the cascaded hierarchy analysis process is provided. The generalizations concerning the characteristics being considered are given.

**Keywords:** security, risk, efficiency characteristics, hierarchy analysis process, objective function of a security system.

**For citation:** Lubentsov A.V. Synthesis of a model for obtaining performance characteristics of an integrated security system based on the analytic hierarchy process. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1266> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.40.1.030 (In Russ.).

## Введение

В сегодняшней действительности жизнь человечества наполнена всевозможными угрозами. Концепция безопасности подразумевает реализацию защищенности от всех допустимых рисков (угроз), вероятность проявления которых признается ненулевой.

Целью предлагаемого исследования является построение модели получения характеристик эффективности комплексной системы безопасности (КСБ) и системный анализ оценки параметров эффективности. Для этого необходимо решить задачу уменьшения субъективных факторов в оценке эффективности сложных систем на примере КСБ.

Рассмотрим основные принципы построения комплексной системы безопасности и параметры ее эффективности.

**Методы анализа для оценки параметров эффективности.** Методы анализа, применимые для оценки параметров эффективности созданы давно. Вопрос в том, что большинство предлагаемых методов имеют большую субъективную составляющую. Рассмотрим эти методы.

Детерминистический метод. Один из самых простых и часто применяемых. Основан на экспертном составлении технического задания (ТЗ) на КСБ, и последующей тщательной проверкой соответствия построенной системы всей технической документации. Достоинства – в ясной постановке задачи, недостатки – в необходимости безошибочно составить ТЗ.

Метод имитационного моделирования. Основан на предположении о независимости и случайности параметров в связке «риск-система». С помощью генератора случайных чисел генерируют выборки, основываясь на теоретических или статистических вероятностях. Анализ этих выборок и позволяет судить об эффективности системы. Достоинство – в возможности получить статистические данные, недостатки – в проблеме получения репрезентативных выборок, истинных вероятностей и сложности интерпретации результатов.

Методы многокритериальной оптимизации. Разработано огромное количество методов, их основой является концентрирование информации об отдельных показателях качества. Одним из самых оптимальных является метод анализа иерархий (МАИ) и его вариации. Достоинство – максимальное приближение к реальной ситуации, недостаток – необходимость участия высокопрофессиональных экспертов.

Логико-вероятностные методы. Позволяют получить количественную оценку риска как меры опасности. Достоинства – получение численных характеристик каждого элемента модели «риск-система», недостатки – сложность сценариев логических переходов от одного состояния системы к другому.

Проанализируем некоторые варианты практической реализации оценки эффективности.

В работах [1, 2] дана комплексная оценка безопасности объекта, включающая в себя оценку частных критериев для каждого отдельного направления безопасности и оценку интегрального критерия для всей их совокупности.

Гарантированный критерий, основанный на минимизации потерь, используется тогда, когда требуется равномерное улучшение всех параметров. Положительным эффектом является возможность выделения «узких мест» в структуре безопасности организации, то есть определения тех параметров, которые в данный момент являются «критическими» и на улучшение которых следует обратить первоочередное внимание.

Оптимистический критерий используется тогда, когда ставится задача улучшения хотя бы одного из параметров. В этом случае происходит максимизация положительных результатов.

Далее предлагается применять метрический и иерархический подходы: формирование группы экспертов, получение экспертных оценок, сближение мнений экспертов и корректировка результатов экспертизы.

Вместе с тем это не избавляет предлагаемый метод от субъективных влияний.

Интересный метод предложен в работе А.В. Душкина, и В.В. Цветкова [3]. В ней анализируется надежность функционирования аппаратной части системы охраны, представляя ее состояние в виде графа потоков отказов / восстановлений. При этом вводится «обобщенный критерий боевой эффективности системы охраны объекта», который состоит из суммы эффективностей всех участков системы с весовыми коэффициентами. Однако, эту модель можно с успехом применять только к уже функционирующим объектам.

В работе [4] предлагается анализ теоретических подходов к рассматриваемой проблеме, но конкретных решений не предлагается.

В статье И.И. Медведева, Г.Е. Шепитько [5] «предложен интегральный критерий – вероятность сохранения материальных ценностей». Но кроме проблем с получением реальных вероятностей, входящих в интегральный критерий, возникает мнение о его узкоспециализированном применении.

Еще ряд решений представлен в работах [6-11], однако до окончательного решения задачи еще достаточно далеко.

**Модель оценки эффективности КСБ с использованием каскадного МАИ.** Главная задача оценки эффективности КСБ – получение объективных критериев для принятия решения в одной из двух задач: задача анализа или выбор оптимального варианта построения КСБ из нескольких готовых вариантов, и задача синтеза, оптимизация характеристик КСБ для моделирования системы «под объект». Для решения используются, как правило, одни и те же методы.

Общепринято считать, что КСБ, выполняющая свою основную целевую функцию и предотвращающая влияние рисков на защищаемый объект, является эффективной, т. е.:

– решается задача технической эффективности, в заданных граничных условиях (эксплуатационных и временных рамках) КСБ с заданной вероятностью выполняет поставленные задачи;

– решается задача экономической эффективности, заданные финансовые параметры на создание и эксплуатацию КСБ ощутимо меньше положительного эффекта предотвращенных потерь.

Большинство характеристик эффективности можно получить вероятностными методами на основе репрезентативных выборок. Однако, особая сложность применения этих методов состоит в том, что практически полностью отсутствуют статистически значимые массивы данных по вероятностям реализации рисков, особенностям их реализации и параметрам работы систем безопасности в этих условиях. Приходится опираться на экспертные оценки, которые в текущих экономических условиях представляются весьма субъективными, а порой, и противоречивыми. Выход представляется в комбинировании экспертных и математических методов.

К сожалению, в руководящих документах понятие эффективности дается весьма расплывчато. Защищенность при этом трактуется как «совокупность организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение охраны объекта (зоны объекта). Результат этих мероприятий характеризуется уровнем защищенности»<sup>1</sup>. Еще один ГОСТ 34.003-99 определяет эффективность автоматизированной системы как «свойство, характеризующее степень достижения целей, поставленных при создании системы»<sup>2</sup>.

Большинство коммерческих организаций используют качественные методы при оценке эффективности, ограничиваясь бинарными оценками (лучше / хуже), и во многих случаях этого достаточно для моделирования КСБ. Но для «измерения» эффективности необходимо разработать критерии, позволяющие принимать обоснованные решения.

Таким образом, основные целевые функции КСБ можно свести к следующим: обнаружение, реакция, противостояние. Оценить эти функции можно по параметрам, предложенным в [12], и по оценкам можно судить об эффективности системы.

Для получения критериев эффективности после оцифровки параметров оценивания предлагается использовать МАИ [13], хорошо зарекомендовавший себя в последнее время.

Однако, в МАИ достаточно много субъективизма. Предлагается его уменьшить. Для этого метод делится на две части: первая – субъективная (выбор критериев и решений и их ранжирование); вторая – объективная (расчет НВП и элементов матриц), не зависящая от решений человека. В реализации первой части результаты сильно зависят от лица, принимающего решение (ЛПР).

Для повышения объективности предлагается использовать МАИ в каскадном варианте. Его суть заключается в следующем. Образуются 3 группы ЛПР – независимые эксперты, руководители объекта и пользователи (специалисты, эксплуатирующие КСБ после внедрения). Эти три группы совместно выбирают список решений (модификаций предполагаемого КСБ) и список критериев. Но ранжирование каждая группа проводит по-своему, и матрицы каждая группа составляет на свое усмотрение. Далее мы проводим три группы расчетов, получая три группы НВП для критериев и три группы НВП для

<sup>1</sup> Государственный стандарт Российской Федерации. Системы тревожной сигнализации Часть 1. Общие требования раздел 4. Руководство по проектированию, монтажу и техническому обслуживанию. Дата введения 1996-01-01.

<sup>2</sup> Межгосударственный стандарт. Информационная технология, Комплекс стандартов на автоматизированные системы, автоматизированные системы, Термины и определения. Дата введения 1992-01-01.

решений. После рассчитываем нормированный вектор приоритетов (НВП) Кито $g$   $i$  для матрицы, где в строках значения НВП критериев (НВП К  $j$ ) для каждой группы ЛПР (Таблица 4). Для нормирования итоговых НВП для каждой группы ЛПР используем среднее значение НВП К $i$  по всем группам анализа.

Таблица 1 – Параметры оценивания функций КСБ

Table 1 – Parameters of CSB function evaluation

	Функции КСБ		
	Обнаружение	Реакция	Противодействие
Параметры оценивания	Вероятность обнаружения проявления риска	Время доведения информации лицу, принимающему решения (ЛПР)	Время задержки проявления риска
	Вероятность ложного обнаружения проявления риска	Время генерации предложений по принимаемым решениям	Время, необходимое для остановки проявления риска
	Вероятность отказа системы (наработки на отказ)	Время генерации предложений по принимаемым решениям и автоматическим подключениям дополнительных функций.	Вероятность задержки проявления риска
	Время реакции ЛПР		Вероятность остановки проявления риска

На следующем этапе составляем матрицу, где в строках НВП для каждого решения, НВП Р $j$  (Таблица 5).

Для расчета НВП Р итог  $i$  используется формула стандартного МАИ. Для нормирования используем НВП Кито $g$   $i$  из предыдущей матрицы. Полученные значения нормализованного вектора приоритетов для каждого решения позволяют объективно выбрать ту модель (конфигурацию) КСБ, которая оптимально удовлетворяет все три группы аналитиков и учитывает все критерии.

Таблица 2 – Матрица расчета НВП итоговых критериев (НВП Кито $g$   $i$ )

Table 2 – Matrix for calculating the NVP of the final criteria (NVP Kitog  $i$ )

	К $_1$	...	К $_j$	...	К $_n$	
<b>Эксперт</b>	НВП К $_{1Э}$	...	НВП К $_{jЭ}$	...	НВП К $_{nЭ}$	НВП К $_{итог Э}$
<b>Руководитель</b>	НВП К $_{1Р}$	...	НВП К $_{jР}$	...	НВП К $_{nР}$	НВП К $_{итог Р}$
<b>Пользователь</b>	НВП К $_{1П}$	...	НВП К $_{jП}$	...	НВП К $_{nП}$	НВП К $_{итог П}$

Таблица 3 – Матрица расчета НВП итоговых решений (НВП Р<sub>итог i</sub>)  
Table 3 – Matrix for calculating the NVP of the final decisions (NVP Ritog i)

Эксперт	Руководитель	Пользователь	НВП Р <sub>итог i</sub>
НВП Р <sub>1э</sub>	НВП Р <sub>1р</sub>	НВП Р <sub>1п</sub>	НВП Р <sub>итог 1</sub>
.....	.....	.....	.....
НВП Р <sub>iэ</sub>	НВП Р <sub>ip</sub>	НВП Р <sub>ип</sub>	НВП Р <sub>итог i</sub>
.....	.....	.....	.....
НВП Р <sub>нэ</sub>	НВП Р <sub>нр</sub>	НВП Р <sub>нп</sub>	НВП Р <sub>итог n</sub>

Практическое применение предложенных моделей подробно представлено в [13]. Там рассмотрены численные решения по построению иерархий статистическими методами и МАИ, дан анализ реальных расчетов при построении КСБ для коммерческих объектов. Анализ расчетов для объектов уголовно-исполнительной системы приведен в изданиях ограниченного доступа.

### Выводы

Анализируя вышесказанное, мы можем сделать следующие выводы.

1. Использование предлагаемого каскадного МАИ существенно повышает точность и понижает субъективизм при расчете характеристик эффективности КСБ.
2. Чем выше уровень ценности охраняемого объекта, тем подробнее необходимо составлять матрицы МАИ при проектировании КСБ.
3. Структурная сложность объекта напрямую влияет на сложность и эффективность КСБ.
4. КСБ есть сумма подсистем, противодействующих разным рискам, но суммарная эффективность не всегда арифметическая сумма эффективностей подсистем.
5. Подсистемы в КСБ могут иметь общие узлы и пересекающийся функционал, однако оптимизация структуры усложняет расчет эффективности.
6. Критерии эффективности каждой подсистемы персонализируются для каждого из рассматриваемых рисков.
7. Критерий эффективности КСБ напрямую зависит от ее функционала.
8. Критерий эффективности КСБ есть сложная сумма критериев эффективности подсистем с учетом весов каждого.

Таким образом, эффективность параметров КСБ есть проекция характеристик охраняемого объекта.

Приведенный системный анализ характеристик и эффективности были использованы при построении КСБ на 9 коммерческих объектах в городах Воронеж, Липецк и Саратов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ноев А.Н., Белоусов Р.В., Новосельцев В.И., Толкач М.В. Экспертный метод интегральной оценки информационной безопасности объекта. *Техника и безопасность объектов УИС: сб. матер. Международная научно-практическая конференция. Воронежский институт ФСИН России*. 2016;71–73.
2. Ноев А.Н., Новосельцев В.И., Иванов В.В. Эвристический метод интегральной оценки безопасности объекта. *Информатика: проблемы, методология, технологии. Сб. материалов 7 Международной научно-практической конференции. Воронежский государственный университет*. 2017;131–134.
3. Душкин А.В., Цветков В.В. К вопросу оценки эффективности системы охраны учреждений УИС с использованием методов расчета надежности. *Вестник Воронежского института ФСИН России*. 2014;2:28–31.
4. Ковалева Е.Г., Кеменов С.А., Степанова М.Н. Методы анализа эффективности систем обеспечения безопасности. *Инновационная наука*. 2015;11(2). Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-analiza-effektivnosti-sistem-obespecheniya-bezopasnosti> (дата обращения: 20.08.2022).
5. Медведев И.И., Шепитько Г.Е. О критериях оценки эффективности систем охраны. *Материалы двадцать первой научно-технической конференции "Системы безопасности – 2012". Академия ГПС МЧС России*. 2012;55–57. Доступно по: <http://ipb.mos.ru/sb/2012/section-1> (дата обращения: 20.08.2022).
6. Юсупов Р.М., Мусаев А.А. Особенности оценивания эффективности информационных систем и технологий. *Труды СПИИРАН*. 2017;51:5–34. DOI: 10.15622/sp.51.1.
7. Рогожин А.А., Дурденко В.А., Баторов Б.О. Критерии оценок эффективности систем физической защиты. *Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XIV Международной научно-методической конференции. Воронежский государственный университет*. 2014;1:54–58.
8. Панин О.А. Проблемы оценки эффективности функционирования систем физической защиты объектов. *Безопасность. Достоверность. Информация*. 2007;72:22–27.
9. Панин О.А. Анализ эффективности интегрированных систем безопасности: принципы, критерии, методы. *Системы безопасности*. Гротек. 2006:60–62.
10. Панин О.А. Как измерить эффективность? Логико-вероятностное моделирование в задачах оценки систем физической защиты. *Безопасность. Достоверность. Информация*. 2008;77:20–24.
11. Мосолов А.С. Оценка эффективности системы безопасности на основе метода Монте-Карло. *Системы безопасности*. 2014;1:74–77.
12. Лубенцов А.В., Душкин А.В., *Комплексные системы безопасности: системный анализ, архитектура, управление жизненным циклом*. Воронеж: Научная книга; 2022. 254 с.
13. Саати Т. *Принятие решений Метод анализа иерархий*. Перевод с английского Р.Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь; 1993. 278 с.

## REFERENCES

1. Noev A.N., Belousov R.V., Novosel'cev V.I., Tolkach M.V. Jekspertnyj metod integral'noj ocenki informacionnoj bezopasnosti ob'ekta. *Tehnika i bezopasnost' ob'ektov UIS: sb. mater. Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija. Voronezhskij institut FSIN Rossii*. 2016;71–73. (In Russ.).

2. Noev A.N., Novosel'cev V.I., Ivanov V.V. Jevristicheskiy metod integral'noj ocenki bezopasnosti ob'ekta. *Informatika: problemy, metodologija, tehnologii. Sb. materialov 7 Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Voronezhskij gosudarstvennyj universitet*. 2017;131–134. (In Russ.).
3. Dushkin A.V., Cvetkov V.V. K voprosu ocenki jeffektivnosti sistemy ohrany uchrezhdenij UIS s ispol'zovaniem metodov rascheta nadezhnosti. *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii*. 2014;2:28–31. (In Russ.).
4. Kovaleva E.G., Kemenov S.A., Stepanova M.N. Metody analiza jeffektivnosti sistem obespechenija bezopasnosti. *Innovacionnaja nauka*. 2015;11(2). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-analiza-jeffektivnosti-sistem-obespecheniya-bezopasnosti> (accessed on 20.08.2022). (In Russ.).
5. Medvedev I.I., Shepit'ko G.E. O kriterijah ocenki jeffektivnosti sistem ohrany. *Materialy dvadcat' pervoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Sistemy bezopasnosti – 2012". Akademija GPS MChS Rossii*. 2012;55-57. Available from: <http://ipb.mos.ru/sb/2012/section-1> (accessed on 20.08.2022). (In Russ.).
6. Jusupov R.M., Musaev A.A. Efficiency of Information systems and technologies; features of estimation. *Trudy SPIIRAN = SPIIRAS Proceedings*. 2017;51:5–34. DOI: 10.15622/sp.51.1. (In Russ.).
7. Rogozhin A.A., Durdenko V.A., Batorov B.O. Kriterii ocenok jeffektivnosti sistem fizicheskoy zashhity. *Informatika: problemy, metodologija, tehnologii: materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii. Voronezhskij gosudarstvennyj universitet*. 2014;1:54–58. (In Russ.).
8. Panin O.A. Problemy ocenki jeffektivnosti funkcionirovaniya sistem fizicheskoy zashhity ob'ektov. *Bezopasnost'. Dostovernost'. Informacija*. 2007;72:22–27. (In Russ.).
9. Panin O.A. Analiz jeffektivnosti integrirovannyh sistem bezopasnosti: principy, kriterii, metody. *Sistemy bezopasnosti. Grotek*. 2006;60–62. (In Russ.).
10. Panin O.A. Kak izmerit' jeffektivnost'? Logiko-verojatnostnoe modelirovanie v zadachah ocenki sistem fizicheskoy zashhity. *Bezopasnost'. Dostovernost'. Informacija*. 2008;77:20–24. (In Russ.).
11. Mosolov A.S. Ocenka jeffektivnosti sistemy bezopasnosti na osnove metoda Monte-Karlo. *Sistemy bezopasnosti*. 2014;1:74–77. (In Russ.).
12. Lubencov A.V., Dushkin A.V. *Complex security systems: system analysis, architecture, life cycle management*. Voronezh, Nauchnaja kniga; 2022. 254 p.
13. Saaty T. *The Analytic Hierarchy Process*. Translated from English by R.G. Vachnadze. Moscow, Radio i svjaz'; 1993. 278 p. (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Лубенцов Александр Витальевич**, кандидат географических наук, доцент, профессор кафедры общей радиотехники и электроники, Воронежский институт ФСИН России, Воронеж, Российская Федерация.  
e-mail: [lubensov@mail.ru](mailto:lubensov@mail.ru)  
ORCID: [0000-0003-0239-4843](https://orcid.org/0000-0003-0239-4843)

**Aleksandr Vitalievich Lubentsov**, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of General Radio Engineering and Electronics, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh, Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 15.12.2022; одобрена после рецензирования 14.02.2023; принята к публикации 20.03.2023.*

*The article was submitted 15.12.2022; approved after reviewing 14.02.2023; accepted for publication 20.03.2023.*