

На правах рукописи



ШНЯКИНА Елена Александровна

МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТРЕБУЕМОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ  
НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Специальность: 2.3.1. Системный анализ, управление  
и обработка информации, статистика

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Оренбург – 2025 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Оренбургский государственный университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент  
**Костин Владимир Николаевич**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, доцент  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова», профессор кафедры «Техносферная безопасность»

**Тарасов Андрей Дмитриевич**

кандидат технических наук, доцент  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет», доцент кафедры цифровых систем обработки информации и управления

Ведущая организация

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»

Защита состоится 28.11.2025 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.2.352.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет», по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13 и на сайте <http://www.osu.ru/doc/5612/asp/249>.

Автореферат разослан «\_\_\_» 2025.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.2.352.03



Д.И. Парфёнов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Противодействие всем видам опасности для общества, экономики, государства предписано законодательством Российской Федерации и внесено в перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники. Физическую безопасность объектов обеспечивают системы физической защиты (СФЗ). При проектировании и эксплуатации СФЗ, особенно при изменении характеристик объектов, степени угрозы совершения террористического акта и т.д., проводится контроль соответствия существующего и требуемого уровней безопасности. В связи с этим, разработка методов для решения задачи оценки эффективности СФЗ и выработки решений для ее повышения является актуальной проблемой, имеющей научную и практическую значимость.

**Степень разработанности темы исследования.** Решение различных задач в области систем физической защиты представлено в работах Т.З. Аралбаева, А.В. Бояринцева, А.С. Боровского, А. Н. Бражника, Джеймса Ф. Бродера (James F. Broder), М. Гарсия (Mary Lynn Garcia), С.С. Звежинского, А.Г. Зуева, А.В. Измайлова, С.И. Корчагина, Р. Г. Магауенова, А.С. Олейника, О.А. Панина, Е.Г. Царьковой, И.М. Янникова и др.

Вопросами, связанными с эффективностью СФЗ, занимались М. Гарсия, О. А. Панин, А. В. Бояринцев, С. И. Корчагин, А. В. Леус. Учеными разработаны методы проектирования и оценки эффективности СФЗ, предложены методики категорирования и анализа уязвимости объектов, рассмотрены способы повышения вероятности обнаружения нарушителей техническими средствами обнаружения (ТСО). Однако, вопросы анализа СФЗ на основе декомпозиции ее структуры, технологии выработки рациональных решений по обеспечению заданной эффективности СФЗ разработаны недостаточно и слабо отвечают современным тенденциям изменения внешних условий, а также внутренней среды охраняемых объектов (ОО).

Существующие специализированные программные комплексы (EASI, ASSESS, SAFE, СПРУТ, Вега-2, PROSA, Итерация, Полигон) в основном используются только на этапе оценки эффективности СФЗ и не определяют оптимальные пути достижения требуемой эффективности.

**Целью** диссертационной работы является повышение эффективности принятия решений для систем физической защиты на основе многомерных статистических методов.

Для достижения поставленной цели предполагается решение следующих **задач**:

1. На основе системного анализа предметной области разработать концептуальную модель, позволяющую исследовать пути повышения эффективности СФЗ.

2. Разработать методику идентификации потенциальных нарушителей для каждой категории ОО.

3. Построить имитационную модель оценки эффективности функционирования СФЗ.

4. Разработать методику принятия решений по изменению структуры СФЗ для повышения ее эффективности с целью обеспечения требуемой безопасности ОО.

**Объект исследования** – системы физической защиты охраняемых объектов.

**Предмет исследования** – модели, алгоритмы, методики, методы оценки и повышения эффективности СФЗ.

**Научная новизна.**

1. Разработана концептуальная модель исследования путей повышения эффективности СФЗ, отличающаяся математическим обоснованием принимаемых решений на всех этапах исследования, позволяющая проводить рациональные изменения структуры СФЗ для обеспечения требуемой эффективности (4 пункт паспорта (ПП) специальности 2.3.1).

2. Разработана методика идентификации потенциальных нарушителей для каждой категории ОО, отличающаяся использованием соотношений оценок потенциалов опасности нарушителей и ОО, вычисленных с использованием уточненной шкалы масштабов ЧС, позволяющая повысить обоснованность принимаемых решений (4 ПП специальности 2.3.1).

3. Разработана имитационная модель оценки эффективности функционирования СФЗ, отличающаяся возможностью моделирования всех маршрутов проникновения нарушителей с их детализацией на разнородные по величине защищенности участки (зоны) и использованием натурных статистических данных преодоления разнородных зон ОО, позволяющая повысить достоверность оценки эффективности СФЗ (4, 5 ПП специальности 2.3.1).

4. Разработана методика принятия решений по повышению эффективности СФЗ, отличающаяся декомпозицией модели уязвимости на компоненты и проведением множественного эксперимента для получения уравнения эффективности СФЗ, позволяющая принимать решения, направленные на структурные изменения СФЗ для повышения ее эффективности до требуемого уровня (4 ПП специальности 2.3.1).

**Методологической основой работы** являются: методы системного анализа, принцип потенциального распределения вероятностей Хоменюка, многомерные статистические методы (кластерного и дискриминантного анализа, главных компонент, факторный анализ, полный факторный эксперимент типа  $2^k$ , корреляционно-регрессионный анализ), теория имитационного моделирования.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Концептуальная модель методического аппарата исследования эффективности СФЗ, позволяющая изменять структуру СФЗ для обеспечения требуемой эффективности на основе математически обоснованных решений.

2. Методика идентификации потенциальных нарушителей для категорий ОО, основанная на соотношении интервальных оценок вероятности

безопасного состояния ОО и требуемой вероятности защиты от нарушителя, полученных с использованием уточненной шкалы потенциалов опасности масштабов ЧС для повышения обоснованности принимаемых решений.

3. Имитационная модель оценки эффективности функционирования СФЗ, позволяющая моделировать маршруты проникновения нарушителей, учитывая детализацию их на разнородные по величине защищенности участки (рубежи охраны), для повышения достоверности оценки эффективности СФЗ.

4. Методика принятия решений по повышению эффективности СФЗ до требуемого уровня, основанная на интерпретации уравнений эффективности СФЗ, полученных в ходе проведения множественного эксперимента.

**Теоретическая значимость работы** заключается в разработке методики идентификации потенциальных нарушителей на основе перекрытия диапазонов требуемых вероятностей защиты от нарушителей и вероятностей безопасного состояния объектов; разработка имитационной модели физического процесса функционирования СФЗ; разработка методики принятия решений по повышению эффективности СФЗ, учитывая неоднородность структуры СФЗ.

**Практическая значимость работы** заключается в развитии технологии и практической возможности оценки показателей эффективности СФЗ, а также возможности вырабатывать оптимальные решения по изменению структуры СФЗ для повышения ее эффективности.

**Внедрение результатов работы.** Материалы диссертации внедрены в практику оценки рисков критически важных объектов Оренбургского регионального отделения общероссийской общественной организации «Российское научное общество анализа риска», в процесс оценки эффективности СФЗ критически важных объектов З «ЦНИИ Минобороны России», в учебный процесс ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет».

**Основные результаты диссертационного исследования представлялись и докладывались на научных конференциях:** XXXII Международная научно-практическая конференция «Приоритетные направления развития науки и технологий» (Тула, 2023 г.), Всероссийская научно-техническая конференция «Современные научно-исследовательские и технологические аспекты программной инженерии» (Оренбург, 2023 г.), XXX Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов» (Москва, 2024 г.), XXVI Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и телекоммуникаций» (Самара, 2024 г.).

**Публикации.** Теоретические и прикладные результаты опубликованы в 9 научных работах, в том числе, 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получены 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Личный вклад.** Все результаты, представленные в диссертации, получены автором лично. Выбор общего направления исследований и постановка задач осуществлялись совместно с научным руководителем. В

работах, опубликованных в соавторстве, лично автором получены следующие результаты: разработка методики идентификации потенциальных нарушителей; разработка методики принятия решений для повышения эффективности СФЗ до требуемого уровня; разработка концептуальной модели методического аппарата исследования эффективности СФЗ; разработка алгоритмов программ.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка, состоящего из 138 источников, приложений. Работа изложена на 160 страницах машинописного текста, содержит 18 рисунков, 51 таблицу и 3 приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, показана ее научная новизна и практическая значимость, определены методы исследований, дана краткая характеристика работы и приведены сведения об апробации работы и публикациях.

**В первой главе** выполнен системный анализ предметной области, которая *себой представляет противостояние системы нарушителей и системы ОО, уравновешивающейся СФЗ*. Под СФЗ понимается совокупность людей, процедур, инженерно-технического оборудования для защиты ОО от неправомерных действий (рис. 1).

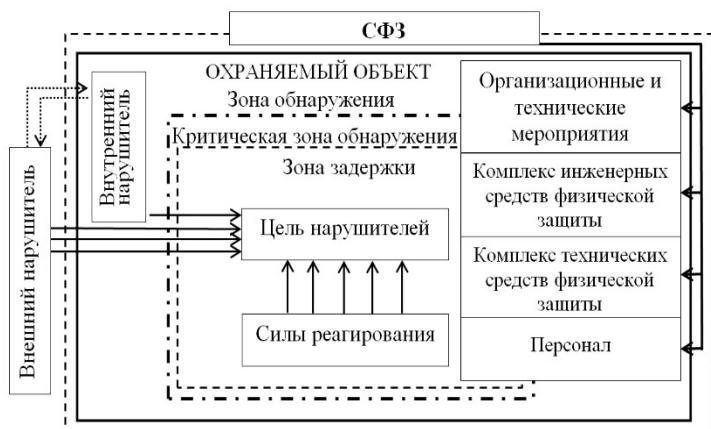


Рисунок 1 – Система физической защиты ОО

Анализ нормативной базы и исследований в области задания и обоснования требований к обеспечению безопасности ОО показал низкий уровень обоснованности в идентификации потенциальных нарушителей для категорий ОО. Существующие методики позволяют производить только оценку эффективности СФЗ и не предлагают пути ее повышения. В результате сделан вывод о необходимости разработки методики принятия решений по обеспечению требуемой эффективности СФЗ на основе многомерных статистических методов, сформированы цель и задачи исследования.

**Во второй главе** разработана концептуальная модель исследования эффективности СФЗ. Для оценки эффективности СФЗ выбран метод вероятностно-временного анализа, в котором в качестве показателя эффективности СФЗ принята вероятность безопасного состояния ОО:

$$P_{bc} = P_o \cdot P_{csp} \cdot P_n, \quad (1)$$

где  $P_o$  – вероятность обнаружения нарушителя – характеристика зоны обнаружения;  $P_{csp}$  – вероятность своевременного прибытия сил реагирования (СР) в точку перехвата при условии обнаружения нарушителя

– характеристика зоны задержки, определяется соотношением времени своевременного прибытия СР и времени задержки нарушителя на пути достижения им цели;  $P_h$  – вероятность нейтрализации нарушителя при условии своевременного прибытия СР, в работе принимается  $P_h=1$ . Безопасность объекта определяется вариантом реализации СФЗ:  $M_i=\{m_j | m_j \in M, j=1, \dots, R\}, i=1, \dots, I; M$  – множество средств защиты,  $R$  – количество уязвимостей ОО,  $I$  – количество вариантов реализации СФЗ. Формальное описание стратегии повышения эффективности СФЗ: определить множество  $M_i$ , обеспечивающее вероятность безопасного состояния ОО, не менее требуемого при минимуме затрат:

$$P_{bc}(P_{oi}, T_{zi}) \rightarrow P_{bc \text{ треб}}, Z \leq Z_{min} \quad (2)$$

где  $P_{oi}$  – вероятность обнаружения нарушителя на  $i$ -том маршруте;  $T_{zi}$  – время задержки нарушителя на  $i$ -том маршруте.

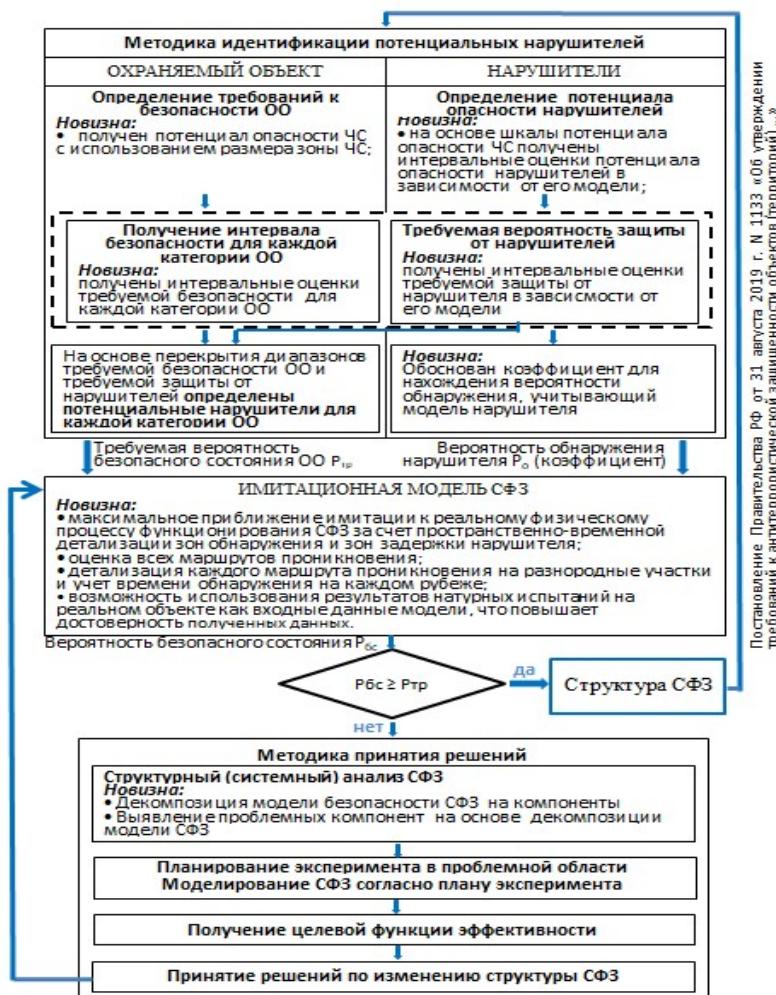


Рисунок 2 – Концептуальная модель исследования эффективности СФЗ

категорируемых объектов, в которой описание разнородных объектов исследования (ОО и нарушителей) приведено к единым шкалам.

Первоочередной задачей оценки эффективности СФЗ является идентификация потенциальных нарушителей для заданной категории ОО. Для решения этой задачи необходимо: 1) определить потенциал опасности

ОО имеют сложную структуру, разделяющуюся на разнородные зоны по важности, защищенности. Модель безопасности ОО, представленная совокупностью маршрутов проникновения через неоднородные зоны ОО, как и структура СФЗ, является неоднородной. Поэтому мероприятия по повышению эффективности СФЗ имеют разные градиенты, т.е. управление эффективностью разделяется на отдельные компоненты.

Разработанная концептуальная модель исследования эффективности СФЗ представлена на рисунке 2.

**В третьей главе** разработана методика идентификации потенциальных нарушителей для

каждой категории ОО; 2) определить потенциал опасности каждой модели нарушителя; 3) провести идентификацию потенциальных нарушителей для категорий ОО.

В зависимости от ущерба, ОО ГОСТ Р 78.36.032-2013 разделяет категории А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, А<sub>3</sub>, Б<sub>1</sub>, Б<sub>2</sub> (рис. 3). Несанкционированное проникновение на ОО физических лиц: террористов, диверсантов, преступников, экстремистов инициализирует соответствующие объекту потенциальные угрозы безопасности, приводящие к чрезвычайным ситуациям (ЧС) различного характера и масштаба (табл. 1) (Постановление Правительства РФ от 20.12.2019 № 1743). На основе анализа перечисленных нормативных актов ОО распределены на 5 категорий, на которых наихудший сценарий проникновения нарушителей может привести к ЧС:



Рисунок 3 – Категории охраняемых объектов

определяемое ее масштабом (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристики масштабов ЧС

Признаки ЧС (j=1,m)	Масштаб ЧС (i=1,n)					
	локальный	муниципальный	межмуниципальный	региональный	межрегиональный	федеральный
людские потери, ч.	1	2	3	4	5	6
материалный ущерб, млн руб.	10	25	50	250	500	1000
зона ЧС, км <sup>2</sup>	0,24	6	12	600	1200	2400
	13,04	2561	3963	3083523	6914493	17098246

Для оценки потенциала опасности масштабов ЧС используется метод Хоменюка. Входные данные представляются в виде двумерного пространства

(табл. 1): множество  $n$  масштабов ЧС; множество  $m$  признаков ЧС. Для приведения характеристик  $\{x_{ji}\}$  ЧС к единой шкале используется нормализация:

$$r_{ji} = \frac{x_{ji}}{x_{\max j}}, \quad (3)$$

отображающая  $x_{ji} \rightarrow r \in [0;1]$ . Нормированная мера  $r_{ji}$  применяется для вычислений формирующей оценочный потенциал вероятности  $p(r)$ :

$$p_{ji}(r) = \frac{r_{ji}}{\sum_{i=1}^n r_{ji}}. \quad (4)$$

Хоменюк В.В. ввел понятие потенциального распределения вероятности:

$$\hat{p}_j(r) = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ji}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n r_{ji}}, \quad (5)$$

и используемого для получения вероятностных оценок проявления  $j$ -характеристики  $i$ -го варианта (масштаба ЧС) при формировании оценочного потенциала опасности ЧС (табл. 2):

$$p_i(\text{ЧС}) = \sum_{j=1}^m p_{ji}(r) \cdot \hat{p}_j(r). \quad (6)$$

Таблица 2 – Потенциал опасности ЧС

Характеристика	Масштаб ЧС					
	локальный	муниципальный	межмуниципальный	региональный	межрегиональный	федеральный
Потенциал опасности	2	5	11	131	271	580

Таким образом, введена новая нелинейная шкала, на основе которой рассчитываются потенциалы опасности ОО и нарушителей.

Для определения потенциалов опасностей ОО сопоставляются категория объекта и потенциальная опасность ущерба, возникающая от наибольшего масштаба ЧС (табл. 2). В качестве показателей категорирования объектов используются шесть видов потерь, рекомендованных «НПП «ИСТА-Системс» в методике общегосударственного категорирования объектов:

- политические (оценивается ущерб безопасности государства, заключающийся в снижении авторитета уровня власти и нестабильности);
- людские (оценивается ущерб здоровью и/или жизни людей);
- экологические (оцениваются затраты от потери природных ресурсов, приводящих к ухудшению экологической обстановки в регионе);
- финансовые (оценивается ущерб от утраты материальных ценностей);
- экономические (оцениваются затраты на переселение людей из зоны ЧС, последующие выплаты, компенсирующие нанесённый ущерб);
- информационные (оценивается ущерб от утраты конфиденциальной информации и передовых технологий).

Значения потенциалов опасности (табл. 2) распределяются по перечисленным видам потерь (от минимального до максимального

значений). Таким образом, формируется генеральная совокупность опасности ОО (табл. 3).

Таблица 3 – Генеральная совокупность опасности ОО

Виды потерь	Номер варианта из генеральной совокупности опасности ОО											
	1	2	3	4	5	6	7	...	28	29	30	31
Политические	2	2	2	2	2	2	5	...	271	271	271	580
Людские	2	2	2	2	2	5	5	...	271	271	580	580
Финансовые	2	2	2	2	5	5	5	...	271	580	580	580
Экономические	2	2	2	5	5	5	5	...	580	580	580	580
Экологические	2	2	5	5	5	5	5	...	580	580	580	580
Информационные	2	5	5	5	5	5	5	...	580	580	580	580

Используя метод k-средних кластерного анализа, полученная совокупность разделяется на 5 классов (соответствующих пяти категориям ОО). Результаты кластерного анализа, проведенного в ППП Statistica 10, отображены в таблице 4.

Таблица 4 – Границы значения категорий ОО

Виды потерь	Границы категорий ОО									
	5 категория	4 категория	3 категория	2 категория	1 категория	5	4	3	2	
Политические	2	11	11	131	131	201	201	271	271	580
Людские	2	11	11	131	131	271	271	271	271	580
Финансовые	2	11	11	131	131	271	271	271	271	580
Экономические	2	11	11	131	131	271	271	426	426	580
Экологические	2	71	71	201	201	271	271	580	580	580
Информационные	2	131	131	271	271	271	271	580	580	580

Методом Хоменюка (МХ), используя данные таблицы 4, определен диапазон опасности для каждой из пяти категорий (табл. 5).

Таблица 5 – Распределение потенциала опасности по категориям ОО

Характеристика	Категория ОО				
	5	4	3	2	1
Диапазон значений потенциала опасности	1–28	28–115	115–179	179–276	276–401

Полученные диапазоны потенциала опасности используются для формулировки требований к вероятности безопасного состояния каждой категории ОО. За нижнюю границу безопасности ОО принимается  $P_{бс}=P_{\delta}\cdot P_{свн}$ , где  $P_{\delta}=0,7$  (чувствительность датчика технического средства обнаружения) и  $P_{свн}=0,9$  вероятность своевременного прибытия СР. Получаем минимальное значение  $P_{бс}=0,7\cdot 0,9=0,63$ .

Максимально возможная вероятность безопасного состояния для самого опасного ОО (правая граница) принимается равной 0,999. Используя коэффициент пропорциональности, отобразим множество значений потенциала опасности на множество диапазона [0,63–0,999] (табл. 6). Достоверность полученных результатов подтверждена методом дискриминантного анализа (табл. 6), реализованного в разработанном ПС.

Таблица 6 – Диапазоны вероятностей безопасного состояния

Вероятность безопасного состояния	Категория объекта				
	5 (Б <sub>2</sub> )	4 (Б <sub>1</sub> )	3 (А <sub>3</sub> )	2 (А <sub>2</sub> )	1 (А <sub>1</sub> )
метод Хоменюка	0,63–0,655	0,655–0,735	0,735–0,794	0,794–0,884	0,884–0,999
дискриминантный анализ	0,63–0,659	0,659–0,755	0,755–0,794	0,794–0,886	0,886–0,999

На следующем этапе проводится оценка потенциалов опасности нарушителей. В качестве характеристик, определяющих модель нарушителя, выделены: тип нарушителя (внешний, внутренний); преследуемые цели и мотивы; численность; осведомленность о системе физической защиты и ее уязвимых местах; оснащенность и владение холодным и огнестрельным оружием; уровень подготовки по преодолению барьеров; последствия действий нарушителя.

Последствия действий нарушителя вычисляются методом Хоменюка на основе потенциалов опасности ЧС. Остальным качественным показателям модели нарушителя числовые значения задаются методом экспертизы оценок на основе вербально-числовой шкалы Харрингтона (табл. 7).

Таблица 7 – Характеристики моделей нарушителей

Характеристика	Модель нарушителя					
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
численность	11	4	1	1	1	1
цель и мотив	10	9	8	2	2	5
последствия действий нарушителя	0,3937	0,18386	0,06819	0,00753	0,19727	0,14943
уровень осведомленности	0,7	0,6	0,4	0,3	0,9	1
владение и оснащение холодным и огнестрельным оружием	0,9	0,8	0,7	0,3	0,3	1
уровень подготовки по преодолению барьеров	1	0,9	0,8	0,3	0,3	0,6

Обработав данные таблицы 7 методом Хоменюка, получили значение потенциала опасности для каждой модели нарушителя (табл. 8).

Таблица 8 – Итоговое значение потенциала опасности нарушителей

	Модель нарушителя					
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
Потенциал опасности	285	205	151	61	116	182

Используя рассуждения, применяемые при вычислении диапазонов вероятностей безопасного состояния категорий ОО, на основе потенциалов опасности получены значения требуемых вероятностей защиты от каждой модели потенциальных нарушителей (табл. 9).

Таблица 9 – Значения требуемых вероятностей защиты от нарушителей

	Модель нарушителя					
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
Требуемая вероятность защиты	0,988–0,999	0,860–0,988	0,774–0,824	0,63–0,718	0,718–0,774	0,824–0,860

Таким образом, множества ОО и нарушителей сведены к единой шкале [0;1], интерпретируемой как вероятность, что позволяет идентифицировать потенциальных нарушителей по результатам пересечения (совпадения) полученных оценочных шкал (таблица 10).

Таблица 10 – Потенциальные нарушители для категорий ОО

Категория объекта	1 (A <sub>1</sub> )	2 (A <sub>2</sub> )	3 (A <sub>3</sub> )	4 (Б <sub>1</sub> )	5 (Б <sub>2</sub> )
Потенциальные нарушители	X <sub>1</sub> , X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub> , X <sub>3</sub> , X <sub>6</sub>	X <sub>3</sub> , X <sub>5</sub>	X <sub>4</sub> , X <sub>5</sub>	X <sub>4</sub>

Чем выше подготовленность внешнего нарушителя, тем ниже вероятность его обнаружения. Учитывая это, пусть  $k$  – коэффициент, определяемый подготовленностью нарушителя, тогда:

$$P_o = k \cdot P_{kmtco}, \quad (7)$$

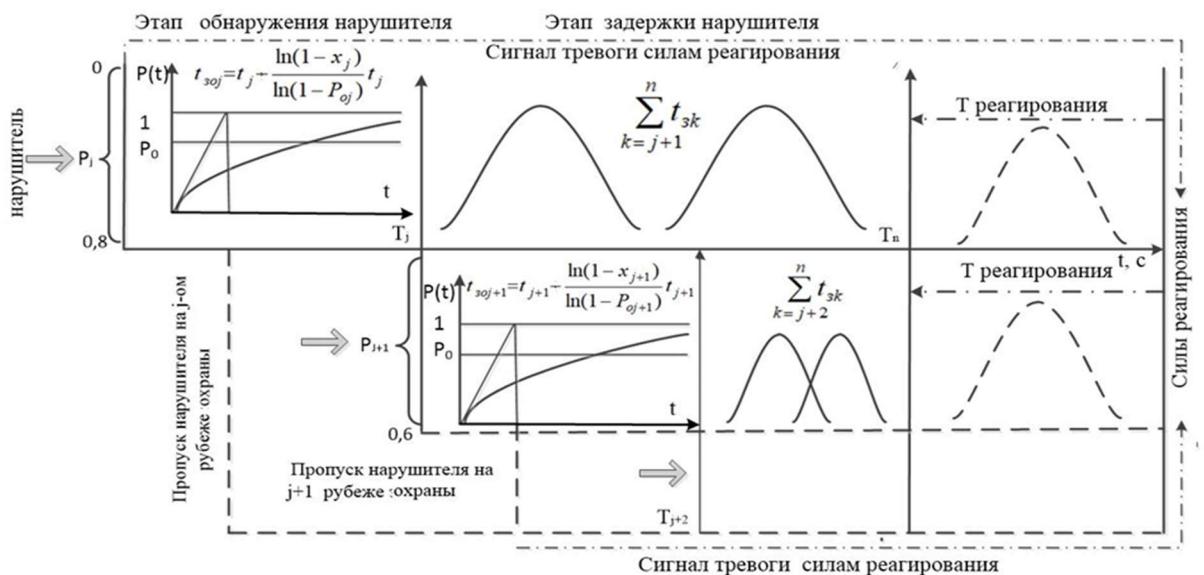
где  $P_{kmc}$  – вероятность обнаружения, указанная в документации технических средств обнаружения (ТСО). Значение  $k$  определяется на основе характеристик нарушителей (уровня осведомленности) (табл. 7), отображенных на отрезке  $[0; 1]$ , и представлено в таблице 11.

Таблица 11 – Значение  $k$  – подготовленность внешнего нарушителя

	Модель нарушителя			
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
$k$	0,43	0,57	0,86	1

**В четвертой главе** построена имитационная модель функционирования СФЗ. Задача имитационной модели – оценка эффективности СФЗ. Движение нарушителя по территории объекта может быть различным и заранее неизвестно. Зная структуры объекта и СФЗ, можно определить все маршруты проникновения и определить вероятность нейтрализации нарушителя на каждом из них. Разработанная имитационная модель учитывает разнородность маршрутов нарушителя: количество рубежей защиты, через которые проходит маршрут, вероятность обнаружения на каждом рубеже и время прохождения рубежей нарушителем, которые являются входными данными имитационной модели.

Пространственно-временная схема имитации представлена на рисунке 4.



$n$  – количество рубежей на маршруте,  $P_0$  – вероятность обнаружения,  $t_{3j}$  – время задержки нарушителя на  $j$ -том рубеже обнаружения;  $t_{3k}$  – время задержки нарушителя на  $k$ -ом рубеже задержки

Рисунок 4 – Пространственно-временная схема функционирования СФЗ

Имитация функций СФЗ проводится в следующей последовательности: обнаружение нарушителя в зоне обнаружения, задержка продвижения нарушителя в зонах защиты после обнаружения и реакция СР на проникновение. Обнаружение – это важнейшая функция СФЗ, в отсутствии обнаружения – отсутствует реакция СФЗ. Считается равновозможным каждый сценарий проникновения нарушителя. Величина  $x$  разыгрывает в модели вероятность обнаружения нарушителя на пересекаемом им  $j$ -том рубеже, где  $j=1, \dots, n$ ,  $n$  – количество рубежей на маршруте. Ее значение генерируется по равномерному закону

распределения и сравнивается с заданной величиной  $P_o$ . В случае, если оно принадлежит полуинтервалу  $[P_{0j}; 1)$ , то событие интерпретируется как пропуск нарушителя на  $j$ -том рубеже, и нарушитель переходит на  $j+1$  рубеж. Принадлежность  $x$  полуинтервалу  $[0; P_{0j})$  интерпретируется как обнаружение нарушителя. В этом случае, моделируются время задержки нарушителя  $t_3$  и время реакции группы реагирования и нейтрализации  $t_p$ . Время задержки  $t_3$  представляет собой сумму:

$$t_3 = t_{30j} + \sum_{k=j+1}^n t_{3k}, \quad (8)$$

где  $t_{30j}$  – время задержки нарушителя на  $j$ -том рубеже обнаружения – рубеже, на котором он был обнаружен;  $t_{3k}$  – время задержки нарушителя на  $k$ -ом рубеже задержки, где  $k = j+1, \dots, n$ . Обе величины:  $t_{30j}$ ,  $t_{3k}$  являются случайными. Рассмотрим генерирование каждой из них. Пусть нарушитель находится на  $j$ -том рубеже охраны. Дальнейшие рассуждения аналогичны для каждого рубежа охраны, поэтому для удобства опустим в формулах индекс  $j$ . Вероятность обнаружения нарушителя зависит от длительности времени его движения на  $j$ -том рубеже охраны и подчиняется экспоненциальному закону распределения:

$$P_0 = 1 - e^{-\lambda_0 t}. \quad (9)$$

В формуле (9) интенсивность  $\lambda_0$  (параметр закона распределения) характеризует эффективность системы обнаружения. Чем дольше нарушитель находится в зоне обнаружения, тем выше вероятность его обнаружения. Из формулы (9) величина  $\lambda_0$ :

$$\lambda_0 = -\frac{\ln(1 - P_0)}{t}. \quad (10)$$

Время обнаружения является случайной величиной и определяется выражением:

$$t_0 = -\frac{1}{\lambda_0} \ln(1 - x). \quad (11)$$

где  $x$  – случайная величина, распределенная равномерно в интервале  $(0, 1)$  и интерпретируемая как обнаружение или пропуск нарушителя. Подставляя в формулу (11) значение  $\lambda_0$  из (10), получим случайное время обнаружения  $t_0$  нарушителя в зоне ответственности (контроля) средств обнаружения:

$$t_0 = \frac{\ln(1 - x)}{\ln(1 - P_0)} t, \quad (12)$$

где  $t$  – математическое ожидание времени перемещения в зоне контроля средства обнаружения на данном рубеже обнаружения, являющееся его технической характеристикой и входным параметром имитационной модели для каждого рубежа. Тогда время  $t_{30}$ :

$$t_{30} = t - t_0. \quad (13)$$

Формула (13) с учетом (12) на каждом  $j$ -том рубеже охраны примет вид:

$$t_{30j} = t_j - \frac{\ln(1 - x_j)}{\ln(1 - P_{0j})} t_j, \quad (14)$$

Время задержки на остальных рубежах охраны маршрута и время реакции СР генерируется по нормальному закону распределения на каждом  $k$ -том рубеже (где  $k=j+1, \dots, n$ ). Условием задержки нарушителя является выполнение неравенства  $t_p \leq t_3$ . Количество случаев задержки нарушителя (успешного функционирования СФЗ) определяет величину  $M$ . Моделируется  $N$  попыток проникновения вычисляется:  $W = \frac{M}{N}$ , которая при  $N=100000$  определяет  $P_{bc}$  - вероятность безопасного состояния ОО. На основе изложенной имитационной модели разработано и зарегистрировано ПС.

**В пятой главе разработана** методика принятия решений по повышению эффективности СФЗ. Методика состоит из 4 этапов: 1 Оценка эффективности СФЗ; 2. Декомпозиция маршрутов нарушителя; 3. Полный факторный эксперимент. Построение уравнения регрессии; 4. Принятие решений по обеспечению физической безопасности ОО.

Для гипотетического модельного ОО 2-ой категории - цеха подготовки и перекачки нефти с помощью разработанной имитационной модели получена оценка эффективности СФЗ (табл. 12).

Таблица 12 - Результаты моделирования оценки  $P_{bc}$  для модельного ОО\*

№ маршрута	$P_1$	$T_1, \text{с.}$	$P_2$	$T_2, \text{с.}$	$P_{bc}$
1	0,6	270	0,8	240	0,602
2	0,6	240	0,8	260	0,584
3	0,6	270	0,8	270	0,607
4	0,6	240	0,8	240	0,615
5	0,6	180	0,8	180	0,586
6	0,6	190	0,8	180	0,599
7	0,6	220	0,8	120	0,55
8	0,6	240	0,8	180	0,595
9	0,8	150	0,6	270	0,801
10	0,8	180	0,6	240	0,807
11	0,8	150	0,6	300	0,817

№ маршрута нарушителя	Варимакс (нормализованные факторные нагрузки)		
	$F_1$	$F_2$	$F_3$
1	<b>0,787427</b>	0,135136	0,534017
2	<b>0,962409</b>	0,132058	0,186409
3	<b>0,920045</b>	-0,100090	0,360976
4	<b>0,871927</b>	0,366832	0,324310
5	0,085857	<b>0,968640</b>	0,013745
6	0,136876	<b>0,973952</b>	0,104997
7	-0,021290	<b>0,832327</b>	0,474900
8	0,338245	<b>0,703246</b>	0,548822
9	-0,398051	-0,178075	<b>-0,892288</b>
10	-0,464964	-0,141090	<b>-0,784644</b>
11	-0,302294	-0,267173	<b>-0,914123</b>

\*  $P_1$  - вероятность обнаружения нарушителя на первом рубеже;  $T_1$  – время задержки нарушителя на первом рубеже, с;  $P_2$  - вероятность обнаружения нарушителя на втором рубеже;  $T_2$  – время задержки нарушителя на втором рубеже, с;  $P_{bc}$  – вероятность безопасного состояния

Определим значение  $P_{bc} = 0,8$ , обеспечивающее безопасное состояние ОО. Из таблицы 12 видно, что маршруты 1 – 8 имеют недостаточное значение вероятности безопасного состояния. Для определения латентных связей между маршрутами проникновения, выполняется декомпозиция сложной структуры СФЗ с помощью факторного анализа данных (табл. №13).

По результатам анализа данных таблицы 13, маршруты проникновения нарушителя разделяются на три группы. Первую группу составляют маршруты № 1 – № 4, вторую – № 5 – № 8, третью – № 9 – № 11. Вероятность безопасного состояния объекта на маршрутах, относящихся к первой и второй группам, не удовлетворяет требованиям безопасного состояния ОО (табл. 13). Следовательно, далее исследуется зависимость вероятности безопасного состояния ОО от характеристик СФЗ для первой и второй групп маршрутов. С помощью полного факторного эксперимента с количеством

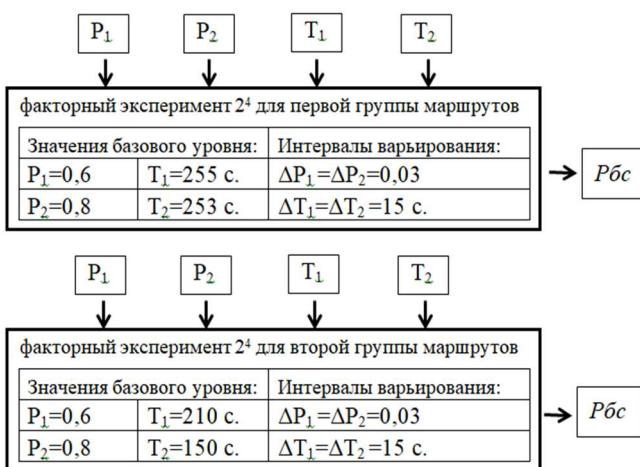


Рисунок 5 – Факторный эксперимент 2<sup>4</sup>

на первом рубеже P<sub>1</sub>. Второй по значимости является вероятность обнаружения на втором рубеже P<sub>2</sub>. Коэффициент характеристики T<sub>2</sub> больше коэффициента T<sub>1</sub>, это показывает, что время задержки нарушителя на последнем рубеже более значимо, чем время задержки нарушителя на ранних рубежах. Имеем два направления повышения эффективности. В первом случае, исходя из наибольшего значения коэффициента вероятности обнаружения P<sub>1</sub> в обоих уравнениях, необходимо проводить модернизацию ТСО на внешнем рубеже обнаружения. Во втором случае, так как коэффициент у T<sub>2</sub> в уравнениях выше, чем у T<sub>1</sub>, увеличивать время задержки целесообразно на втором рубеже.

Для достижения P<sub>бс</sub>=0,8 необходимо повысить значение P<sub>1</sub> до 0,8. Вторым способом увеличения вероятности P<sub>бс</sub> является повышение T<sub>2</sub> на 47 с. (от базового уровня) в первой группе маршрутов и на 150 с. (от базового уровня) во второй группе, т.е. до значения T<sub>2</sub> = 300 с. Подстановка указанных данных в имитационную модель СФЗ показала, что необходимая вероятность безопасного состояния КВО будет достигнута. Окончательное решение по способу повышения эффективности принимается после экономических (стоимостных) расчетов по реализации предложенных направлений решений и выбирается наиболее приемлемый способ.

Реализованная методика принятия решений по изменению структуры СФЗ для повышения ее эффективности позволила сократить временные затраты на принятие решений с 16 до 9 часов. Относительное приращение

факторов, равным четырем (рис. 5), получены уравнения регрессии для первой группы маршрутов:

$$P_{бс} = -0,340 + 1,082 \cdot P_1 + 3,17 \cdot 10^{-4} \cdot T_1 + 0,158 \cdot P_2 + 3,61 \cdot 10^{-4} \cdot T_2;$$

для второй группы маршрутов:

$$P_{бс} = -0,019 + 0,999 \cdot P_1 + 1,92 \cdot 10^{-5} \cdot T_1 + 0,014 \cdot P_2 + 2,69 \cdot 10^{-5} \cdot T_2.$$

Адекватность уравнений регрессии проверена по критерию Фишера. Наибольшее влияние на P<sub>бс</sub> оказывает вероятность обнаружения нарушителя на

эффективности применения концептуальной модели исследования СФЗ составляет 12,8%.

**В заключении** сформулированы основные научные и практические результаты работы. Приведены сведения о внедрении и практическом использовании полученных результатов.

### **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

1. На основе системного анализа СФЗ ОО разработана концептуальная модель исследования путей повышения эффективности СФЗ, которая позволяет вырабатывать рациональные решения по изменению структуры СФЗ для обеспечения требуемой эффективности.

2. Разработана методика идентификации потенциальных нарушителей для категорий ОО на основе сопоставления интервальных оценок (шкал) потенциалов опасности ОО и нарушителей.

3. Предложена интервальная шкала вероятности безопасного состояния ОО, являющейся критерием требуемой эффективности СФЗ.

4. Определены значения коэффициента снижения вероятности обнаружения нарушителя, учитывающего уровень его подготовленности.

5. Разработана имитационная модель оценки эффективности СФЗ ОО, учитывающая неоднородность ее структуры.

6. Разработана методика принятия решений по обеспечению требуемой эффективности СФЗ ОО.

7. Относительное приращение эффективности применения концептуальной модели исследования СФЗ составляет 12,8%.

**Направления будущих исследований.** Разработка методик оценки эффективности СФЗ от угроз, субъектами которых являются управляемые технические устройства. Изучение возможностей применения методов искусственного интеллекта в вопросах обеспечения безопасности ОО.

### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Статьи в научных изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК*

1. Шнякина, Е. А. Принятие управляющих решений по структурным изменениям системы физической защиты объекта для повышения ее эффективности / Е. А. Шнякина, В. Н. Костин // Информационные технологии. – 2022. – Том 28. – №11. – С. 607 – 615. – DOI: 10.17587/it.28.607-615. – EDN: LLIZUJ.

2. Шнякина, Е. А. Имитационная модель оценки эффективности систем физической защиты объектов // Автоматизация. Современные технологии. – 2023. – Т. 77. – № 6. – С. 263-268. – DOI: 10.36652/0869-4931-2023-77-6-263-268. – EDN: LVJLXB.

3. Шнякина, Е. А. Разработка алгоритмического обеспечения принятия решений по идентификации типовых нарушителей категорируемых объектов / Е. А. Шнякина, В. Н. Костин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2023. – № 3(67). – С. 72 – 82. – DOI 10.21685/2072-3059-2023-3-5. – EDN YDSNAN.

4. Шнякина, Е. А. Методика принятия эффективных управленческих решений по обеспечению физической безопасности критически важных объектов / Е. А. Шнякина, В. Н. Костин // Вестник компьютерных и

информационных технологий. – 2023. – Т. 20, № 10 (232). – С. 46 – 55. – DOI 10.14489/vkit.2023.10.pp.046-055. – EDN JMLFKS.

5. Шнякина, Е. А. Оценка вероятности обнаружения нарушителя в зависимости от его модели / Е. А. Шнякина, В. Н. Костин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 7. – С. 206 – 208. – EDN DPXKFW.

*Другие публикации по теме диссертации*

6. Шнякина, Е. А. Методы оценки эффективности систем физической защиты объектов / Е. А. Шнякина, В. Н. Костин // Современные научно-исследовательские и технологические аспекты программной инженерии: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Оренбург, 14–15 сентября 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 138 – 141. – EDN COZLCF.

7. Шнякина, Е. А. Исследование эффективности системы физической защиты критически важных объектов / Е. А. Шнякина, В. Н. Костин // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XXXII Международной научно-практической конференции, Тула, 15 марта 2023 года / Под общ. ред. В. М. Панарина. – Тула: Издательство «Инновационные технологии», 2023. – С. 103 – 107. – EDN ANHYHУ.

8. Шнякина, Е. А. К вопросу о трактовке термина «категорирование охраняемого объекта» / Е. А. Шнякина // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов (шифр - МКАП 30): Сборник материалов XXX Международной научно-практической конференции, Москва, 17 мая 2024 года. – Москва: ООО «Издательство Академическая среда», 2024. – С. 20 – 27. – DOI 10.62994/7858.2024.11.71.050. – EDN NPPOXN.

9. Шнякина, Е. А. Модель нарушителя // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТИТ-2024: XXVI Международная научно-техническая конференция, VII Научный форум «Телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2024», Самара, 06–08 ноября 2024 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – С. 426 – 427.

*Свидетельства о регистрации программ*

10. Имитационная модель функционирования системы физической защиты объекта: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2022684010 / Е. А. Шнякина, М. А. Школин, А. Д. Попов; правообладатель Оренбург. гос. ун-т. – № 2022683828 заявл. 07.12.2022 опубл. 09.12.2022, 2022. – 1 с. – EDN: RWUCIS.

11. Программное средство классификации объектов: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2024667798 / О. А. Капустина, Е. А. Шнякина, В. А. Мироненко, В. Н. Костин; правообладатель Оренбург. Федеральный исслед. центр УОРАН. – № 2024666167 заявл. 09.07.2024 опубл. 30.07.2024, 2024. – с. – EDN PRISCL

Подписано в печать 17 сентября 2025 г.  
Формат 60×90/16. Объем – 1,0 усл. печ. л.

Тираж 100 экз. Заказ № 1689/1

Отпечатано на цифровом МФУ типографии «Копицентр56»  
г. Оренбург, ул. Туркестанская, 14, каб. 4