РогожинАлександрАлександровичМоделииалгоритмыоценкинадежностиинтегрированныхсистембезопасностиохраняемыхобъектовдиссертациякандидатаТехническихнаукРогожинАлександрАлександровичМестозащитыФГКОУВОВоронежскийинститутМинистерствавнутреннихделРоссийскойФедерациис

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ КАЗЕННОЕ

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ВОРОНЕЖСКИЙ ИНСТИТУТ МИНИСТЕРСТВА ВНУТРЕННИХ ДЕЛ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

На правах рукописи

**Рогожин Александр Александрович**

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ**

**ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ**

**ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Дурденко Владимир Андреевич

Воронеж – 2017

2

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение…………………………………………………………………………... 4

Глава 1. Современное состояние моделирования и оценки надежности  
интегрированных систем безопасности охраняемых объектов……………….. 17

1. Функционально-структурная декомпозиция интегрированной системы безопасности………………………………………………………... 17
2. Анализ и обоснование выбора методов моделирования и расчета надежности интегрированных систем безопасности………………………. 37
3. Анализ подходов к оценке надежности и качества функционирования интегрированных систем безопасности……………… 42
4. Выводы по главе 1 и общая схема проведения диссертационного исследования………………………………………………………………….. 48

Глава 2. Разработка моделей интегрированной системы безопасности и  
расчет количественных показателей ее надежности ………………………….. 51

1. Основные ограничения и допущения при моделировании…………… 51
2. Формирование перечня количественных показателей надежности интегрированных систем безопасности…………………………………….. 53
3. Моделирование и расчет количественных показателей надежности интегрированных систем безопасности…………………………………….. 60

2.4. Выводы по главе 2………………………………………………………... 77  
Глава 3. Разработка численных методов и алгоритмов оценки надежности  
интегрированных систем безопасности…………………………………………. 79

1. Применение методов интеллектуального анализа для оценки надежности интегрированных систем безопасности………………………. 79
2. Обоснование использования метода анализа иерархий……………….. 8 5
3. Особенности ассоциативного обучения нейронной сети……………… 92

3

1. Численный метод и алгоритм коррекции результатов анализа иерархий функциональных возможностей интегрированных систем безопасности на основе ассоциативного обучения нейронной сети……… 98
2. Классификация и прогнозирование структур интегрированных систем безопасности на основе обучения однослойного персептрона……………. 105

3.6. Выводы по главе 3………………………………………………………... 116  
Глава 4. Комплекс программ для оценки надежности и  
автоматизированного составления планов повышения надежности  
интегрированных систем безопасности………………………………………… 120

1. Общие сведения о комплексе программ………………………..………. 120
2. Особенности алгоритма и программы автоматизированного составления планов повышения надежности интегрированных систем безопасности…………………………………………………………………... 127
3. Выводы по главе 4……………………………………………… 141

Заключение……………………………………………………………… 146

Список сокращений и условных обозначений…………………………………. 148  
Список литературы………………………………………………………………. 150

Приложение А. Схемы функциональной целостности исследуемой

базовой структурной модели интегрированной системы безопасности… 174

Приложение Б. Описание основных элементов структурно-параметрической  
модели и схемы функциональной целостности интегрированной системы  
безопасности……………………………………………………………………… 178  
Приложение В. Формирование исходных данных для расчета показателей  
надежности интегрированной системы безопасности…………………………. 187  
Приложение Г. Результаты расчета показателей надежности

интегрированной системы безопасности………………………………………. 191

Приложение Д. Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ…………... 193  
Приложение Е. Акты внедрения результатов диссертационного

исследования…………………………………………………………………….. 197

4

**ВВЕДЕНИЕ**

***Актуальность темы.*** Среди приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации на первом месте стоит «Безопасность и противодействие терроризму» [[86](#bookmark70)]. В связи с высокой уязвимостью по отношению криминальным и террористическим угрозам в настоящее время перед силовыми структурами Российской Федерации поставлена серьезная задача повышения уровня безопасности объектов особой важности, повышенной опасности, жизнеобеспечения, с массовым пребыванием людей, критически важных и других, подлежащих обязательной государственной охране на территории Российской Федерации [85]. Последствия криминальных воздействий или террористических актов на данных объектах могут привести к гибели большого количества людей, а также нанести высокий или непоправимый материальный, экономический, экологический ущерб обществу и государству. Невозможно обеспечить требуемый уровень безопасности объекта указанной категории без должного уровня инженерно-технической укрепленности и построения технической системы, включающей в себя человеческие ресурсы, технические средства и системы, а главное ― умение анализировать информацию о реальных угрозах и их последствиях. Поэтому обеспечение безопасности таких объектов возложено на профессионально подготовленные и технически оснащенные подразделения вневедомственной охраны (ВО), ФГУП «Охрана» Росгвардии, а также на частные охранные организации и ведомственные службы безопасности с использованием современных технических средств [[84](#bookmark68)], и преимущественно интегрированных систем безопасности (ИСБ) [[98,](#bookmark81) [147](#bookmark113)].

ИСБ является сложной технической системой, то есть совокупностью подсистем (элементов), объединенных функционально или конструктивно в соответствии с определенным алгоритмом взаимодействия при выполнении определенной задачи в процессе применения по назначению [[107](#bookmark89)]. Согласно теории надежности, «надёжность любой сложной технической системы отражает ее свойство выполнять и сохранять во времени заданные функции в заданных

5

режимах и условиях применения по назначению, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки» [[22](#bookmark15)―[26](#bookmark17)].

В работе [[107](#bookmark89)] сформулировано, что «надежность ИСБ охраняемого объекта  
характеризует способность с заданной вероятностью обнаруживать и

противостоять несанкционированным действиям правонарушителя в рамках проектной угрозы в течение заданного времени».

Внедрение высоконадежной структуры ИСБ на объекте является достаточно  
сложной научно-практической задачей, зависящей от большого количества  
факторов. Задачу также усложняет тот факт, что к настоящему моменту времени  
недостаточно проработана нормативно-техническая база в области

проектирования, эксплуатации и оценки надежности ИСБ охраняемых объектов. Учитывая, что любой объект, на котором внедряется ИСБ, является уникальным, каждая проектируемая система представляет собой продукцию единичного производства, создаваемую вновь для каждого конкретного объекта. Кроме того, ИСБ для конкретных объектов могут иметь одну структуру или выполнять одни и те же функции, но быть реализованы с использованием различного оборудования.

Как правило, на этапе проектирования проводится оценка (экспертиза) и  
сравнивается несколько структур ИСБ, предлагаемых для внедрения на  
охраняемом объекте, в целях научно обоснованного выбора «лучшей» из них для  
обеспечения противокриминальной и антитеррористической защиты. При этом  
недостаточно использовать только показатели надежности, требуется

использование обобщенных показателей «качество-цена». Здесь необходимо  
учитывать, что все оцениваемые структуры ИСБ могут быть одинаково  
высоконадежными, даже иметь одинаковые показатели надежности, но с разной  
эффективностью выполнять свою целевую (выходную) функцию. При этом  
требуется качественная оценка эффективности выполнения целевой функции  
конкретной структурой ИСБ, которая может быть получена с использованием  
современной теории экспертных систем, базирующейся на методах

интеллектуального анализа и нейронных сетей.

6

Оценка надежности ИСБ необходима при сравнении и обоснованном выборе той или иной структуры ИСБ, а также для разработки программ обеспечения надежности, выработки, обоснования и оптимизации технических решений с учетом экономической целесообразности на этапах проектирования, внедрения, приемки и эксплуатации ИСБ на объектах различного функционального назначения. Кроме того, оценка надежности ИСБ на стадии проектирования предусмотрена требованиями ГОСТ Р 53704-2009 [[36](#bookmark26)].

Научная задача моделирования и оценки надежности ИСБ является весьма актуальной ввиду недостаточно проработанного подхода к ее решению. Об этом свидетельствует анализ научных трудов отечественных и зарубежных ученых в предметной области. Вопросам исследования и разработки методологических принципов проектирования ИСБ посвящены работы В.С. Зарубина [[49,](#bookmark36) [50](#bookmark37)], А.В. Измайлова [[52](#bookmark39)], С.И. Козьминых [[62](#bookmark48)]. Разработке методов и моделей оценки эффективности ИСБ посвящены работы С.Ю. Быстрова [[10](#bookmark6)], Ю.А. Оленина [[89,](#bookmark73) [90](#bookmark74)], С.Ф. Алаухова [[3](#bookmark1)], О.А. Панина [[95](#bookmark79)]. Разработкой моделей оценки надежности систем охраны объектов, функционирующих в условиях целенаправленного противодействия со стороны нарушителей, занимались В.И. Сумин и А.В. Мельников [[73](#bookmark57)]. Принципы интеграции и модернизации ИСБ исследовались А.К. Крахмалевым [[65,](#bookmark50) [66](#bookmark51)], А.М. Омельянчуком [[91,](#bookmark75) [92](#bookmark76)], В.В. Волхонским [[13](#bookmark9)], С.В. Кучумаровым [[68,](#bookmark52) [69](#bookmark53)], А.В. Леусом [[70,](#bookmark54) [71](#bookmark55)]. Разработке моделей систем антитеррористической и противокриминальной защиты посвящены работы А.Г. Зайцева [[46](#bookmark34)―[48](#bookmark35)]. Организационно-техническим основам построения систем охраны, в том числе централизованных, посвящены труды Г.Е. Шепитько [[170](#bookmark130)], В.А. Дурденко [[40](#bookmark29)], Э.И. Абалмазова [1]. Разработкой методов и моделей защиты информационных ресурсов в ИСБ занимались В.В. Гайфулин и В.С. Зарубин [[16,](#bookmark11) [17](#bookmark12)]. Разработке методов моделирования и расчета надежности, безопасности, устойчивости и риска систем посвящены работы И.А. Рябинина [[150](#bookmark116)―[153](#bookmark117)], А.С. Можаева [[76](#bookmark60)―[78,](#bookmark62) [97](#bookmark80)], А.А. Нозика [[82](#bookmark66)], Н.А. Северцева [[156,](#bookmark120) [157](#bookmark121)], E.J. Henley и H. Kumamoto [[167](#bookmark127)], J.B. Fussel [[181](#bookmark138)], W.E. Vesely [[197](#bookmark151)], J.D. Andrews [[174](#bookmark134)―[177](#bookmark135)] и др. Разработке моделей и методов

7

оценки и экспертизы технических и экономических объектов, в том числе технических средств охраны, посвящены труды С.В. Бухарина [[8,](#bookmark4) [9](#bookmark5)], А.В. Мельникова [[74](#bookmark58)], В.В. Навоева [[80](#bookmark64)]. Среди наиболее авторитетных авторов в области нейронных сетей следует отметить: С. Хайкина [166], Р. Каллана [[59](#bookmark46)], Т. Кохонена [[64,](#bookmark49) [191](#bookmark145)], С. Осовского [[93](#bookmark77)], Д. Рутковскую, М. Пилиньского, Л. Рутковского [[149](#bookmark115)], Ф. Уоссермена [[164]](#bookmark125), D. DeSiano [[180](#bookmark137)], M.T. Hagan, M. Menhaj [[185](#bookmark141)], M.I. Jordan, R.A. Jacobs [[189]](#bookmark143), H. Ritter [[195](#bookmark149)], I.H. Witten, A. Hall [[198](#bookmark152)] и др.

Вместе с тем необходимо выделить ряд ***противоречий***:

* среди научных исследований нет работ, учитывающих разработку математических моделей и алгоритмов оценки надежности ИСБ, проектируемых и вводимых в эксплуатацию на охраняемых объектах, в том числе в условиях воздействия со стороны человека-нарушителя, а также объединяющих работу известных систем безопасности. В существующих работах проводилась оценка надежности лишь отдельных входящих в ИСБ подсистем;
* до настоящего времени необходимые модели, численные методы, алгоритмы и комплексы программ для оценки надежности ИСБ недостаточно проработаны и не используются в деятельности подразделений вневедомственной охраны, ФГУП «Охрана» Росгвардии, проектно-монтажных организаций, ведомственной охраны и частных охранных организаций;
* имеет место трудоемкость организации натурных экспериментов для оценки надежности ИСБ в связи с привлечением значительных материальных и людских ресурсов, что подчеркивает необходимость применения методов математического моделирования и интеллектуального анализа;
* существующие методы, применяемые в практике экспертных систем при оценке свойств технических объектов, такие как метод анализа иерархий и др., характеризуются занижением оценок менее значимых объектов экспертизы.

Отсюда вытекает ***актуальност ь*** темы диссертационного исследования и подчеркивается целесообразность применения методов интеллектуального анализа к разработке математических моделей, численных методов, алгоритмов и

8

комплекса программ для оценки надежности ИСБ, проектируемых и вводимых в эксплуатацию на охраняемых объектах.

Работа выполнена в соответствии с указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» [[85](#bookmark69)], директивами МВД России «О приоритетных направлениях деятельности органов внутренних дел и внутренних войск МВД России, ФМС России» на 2010―2015 гг.; научным направлением Воронежского института МВД России, связанным с математическим и компьютерным моделированием, а также с реализацией приоритетного профиля подготовки «Деятельность подразделений вневедомственной охраны».

***Объектом исследования*** являются интегрированные системы безопасности охраняемых объектов.

***Предметом исследования*** являются модели, численные методы и  
алгоритмы оценки надежности интегрированных систем безопасности

охраняемых объектов.

***Цель и задачи исследования***. Целью диссертационного исследования является разработка моделей, численных методов, алгоритмов и комплекса программ для оценки надежности интегрированных систем безопасности охраняемых объектов и формирования соответствующих планов повышения их надежности.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Функционально-структурная декомпозиция интегрированной системы безопасности и обоснование состава комплекса моделей, необходимых для оценки надежности интегрированных систем безопасности охраняемых объектов.
2. Разработка моделей интегрированных систем безопасности для проведения вычислительного эксперимента по расчету показателей надежности.
3. Разработка численных методов и алгоритмов для оценки надежности интегрированных систем безопасности и формирования соответствующих планов повышения их надежности.

9

4. Разработка комплекса программ для оценки надежности

интегрированных систем безопасности и формирования соответствующих планов повышения их надежности.

***Методология и методы исследования.*** Теоретические и

экспериментальные исследования базируются на использовании теории надежности систем, логико-вероятностных методов моделирования систем, теории нейронных сетей, методов интеллектуального анализа (data mining). Общей методологической основой является системный подход.

***Научная новизна полученных в ходе исследования результатов:***

1. Предложенные базовая структурная и структурно-параметрическая модели ИСБ, полученные вследствие функционально-структурной декомпозиции, отличаются от существующих учетом набора известных совместно действующих средств и систем безопасности, а также логических связей между ними [[107,](#bookmark89) [127,](#bookmark101) [129,](#bookmark102) [135](#bookmark108)].
2. Разработанные на основе структурно-параметрической модели схемы функциональной целостности ИСБ, формально описывающие работоспособное состояние ИСБ, отличаются от известных моделей учетом групп возможных несовместных событий (успешного выполнения целевой функции ИСБ и успешного воздействия на ИСБ со стороны человека-правонарушителя и других дестабилизирующих факторов), при этом использован базис логических операций И, ИЛИ, НЕ [[105,](#bookmark87) [109,](#bookmark90) [112,](#bookmark93) [113,](#bookmark94) [115,](#bookmark96) [137]](#bookmark110).
3. Разработанные численный метод и алгоритм коррекции результатов анализа иерархий функциональных возможностей ИСБ отличаются необходимым сглаживанием результатов экспертизы с возможностью различной интерпретации оценок после их визуализации и обладают большей устойчивостью к случайным погрешностям экспертизы, чем непосредственное применение метода анализа иерархий, не менее чем в 5 раз [[103,](#bookmark86) [106]](#bookmark88).

***Теоретическая значимость результатов работы*** Полученные научные  
результаты могут быть использованы при моделировании сложных

10

организационно-технических систем в интересах оценки их надежности в условиях целенаправленного воздействия дестабилизирующих факторов.

***Практическая значимость результатов работы*** заключается в  
перспективах расширенного применения разработанного комплекса проблемно-  
ориентированных программ при сравнении и обоснованном выборе той или иной  
структуры ИСБ с учетом свойств надежности и качества функционирования, а  
также для разработки планов повышения надежности, для дальнейшей выработки,  
обоснования и оптимизации технических решений с учетом экономической  
целесообразности на этапах проектирования, внедрения, приемки и эксплуатации  
ИСБ на объектах различного функционального назначения. Полученные  
результаты ориентированы на организационно-методическую поддержку

деятельности инженерно-технических работников, повышение качества учебного процесса в рамках подготовки технических специалистов в области проектирования и эксплуатации систем безопасности, а также могут послужить основой для дальнейших системных исследований ИСБ и других сложных организационно-технических систем в целях разработки моделей, алгоритмов и общей методологии оценки их надежности, безопасности, живучести, устойчивости и эффективности.

***Положения, выносимые на защиту:***

1. В результате функционально-структурной декомпозиции получены базовая структурная и структурно-параметрическая модели ИСБ, которые позволяют исследовать надежность любой исследуемой ИСБ [[107,](#bookmark89) [127,](#bookmark101) [129,](#bookmark102) [135](#bookmark108)].
2. Структурно-параметрическая модель ИСБ преобразована в схемы функциональной целостности ИСБ, которые позволяют учитывать группы возможных несовместных событий, влияющих на надежность, производить дальнейшее преобразование в логические и вероятностные модели, производить точные расчеты количественных показателей надежности ИСБ [[105,](#bookmark87) [109,](#bookmark90) [112,](#bookmark93) [113,](#bookmark94) [115,](#bookmark96) [137](#bookmark110)].
3. Разработаны численный метод и алгоритм коррекции результатов анализа иерархий функциональных возможностей ИСБ, которые позволяют

11

производить оценку ИСБ как на основе показателей надежности, так и на основе комплексного показателя «качество ― цена», дальнейшую классификацию исследуемых структур и прогнозирование состояния новых структур ИСБ с возможностью различной интерпретации результатов после их визуализации. Разработан алгоритм автоматизированного составления планов повышения надежности ИСБ, который позволяет решить прямую задачу ― составление эффективного плана повышения надежности ИСБ и получение фактической суммы затрат на его реализацию ― и обратную задачу ― составление эффективного плана повышения надежности ИСБ при заданной сумме затрат [[103,](#bookmark86) [106](#bookmark88)].

4. Разработан комплекс программ для ЭВМ, базирующийся на предложенных моделях, методах и алгоритмах, который позволяет снизить неопределенность исходных данных и повысить обоснованность принятия решений при расчете и оценке надежности ИСБ, при разработке программ обеспечения надежности ИСБ [[130](#bookmark103)–[133]](#bookmark106).

***Реализация и внедрение результатов работы.*** Практическая значимость результатов работы подтверждается актами их внедрения в:

1. Практическую деятельность ФГКУ «Управление вневедомственной охраны ГУ МВД России по Краснодарскому краю» при осуществлении оценки надежности и качества функционирования интегрированных систем безопасности, проектируемых и эксплуатируемых на охраняемых объектах различного функционального назначения, а также при проведении занятий с личным составом в рамках профессиональной служебной подготовки инженерно-технических работников.
2. Практическую деятельность компании ― системного интегратора ООО ММТК «Новатор» (г. Москва) для оценки надежности ИСБ при проектировании и внедрении их на объектах различного функционального назначения, а также для разработки программ обеспечения их надежности.
3. Практическую деятельность компании ― системного интегратора ООО «Инженерно-технический центр ОСК» (г. Воронеж) для научно

12

обоснованного выбора наилучших с точки зрения надежности и качества функционирования структур интегрированных систем безопасности при внедрении их на объектах различного функционального назначения, а также для разработки программ обеспечения их надежности.

1. Научно-исследовательскую работу [[101](#bookmark84)] и образовательный процесс Воронежского института МВД России по дисциплинам «Организация интегрированных систем безопасности и охранного мониторинга», «Основы эксплуатации радиотехнических систем», а также при подготовке выпускных квалификационных работ.
2. Образовательный процесс Воронежского института ФСИН России по дисциплинам «Инженерно-технические средства охраны и надзора», «Интегрированные системы безопасности», «Основы надежности средств связи», а также при подготовке выпускных квалификационных работ.

Копии актов внедрения приведены в приложении Е к настоящей работе.

***Апробация работы.*** Основные положения и результаты диссертационной  
работы обсуждались на следующих конференциях и семинарах: Всероссийских  
научно-практических конференциях «Актуальные вопросы эксплуатации систем  
охраны и защищенных телекоммуникационных систем» (Воронеж, 2007,  
2009―2015 гг.); III Международной научной конференции «Современные  
проблемы прикладной математики и математического моделирования» (Воронеж,  
2009 г.); Международных научно-практических конференциях «Охрана,  
безопасность, связь» (Воронеж, 2011―2015 гг.); Международных научно-  
методических конференциях «Информатика: проблемы, методология,  
технологии» (Воронеж, 2012―2016 гг.); XIII Всероссийской научно-технической  
конференции «Научная сессия ТУСУР-2012» (Томск, 2012 г.); Международной  
научно-практической конференции «Теоретические и прикладные проблемы  
информационной безопасности» (Беларусь, Минск, 2012 г.); Международной  
научно-практической конференции «Общественная безопасность, законность и  
правопорядок в III тысячелетии» (Воронеж, 2012, 2016 гг.); Всероссийских  
научно-практических конференциях «Математические методы и информационно-

13

технические средства» (Краснодар, 2012, 2013, 2015, 2016 гг.), Международной  
научно-практической конференции «Техника и безопасность объектов уголовно-  
исполнительной системы» (Воронеж, 2013 г.); V Международной научной  
конференции «Фундаментальные проблемы системной безопасности и

устойчивости» (Елец, 2014 г.); II Всероссийской школе-семинаре молодых ученых «Фундаментальные проблемы системной безопасности» (Елец, 2015 г.); научных семинарах Воронежского института МВД России (Воронеж, 2012―2016 гг.).

***Полнота изложения материалов диссертации в работах,***

***опубликованных соискателем ученой степени.*** По теме диссертации опубликовано 28 научных работ, из них 12 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России [[103,](#bookmark86) [105](#bookmark87)―[107,](#bookmark89) [109,](#bookmark90) [112,](#bookmark93) [113,](#bookmark94) [115,](#bookmark96) [127,](#bookmark101) [129,](#bookmark102) [135,](#bookmark108) [137](#bookmark110)], 4 свидетельства о государственной регистрации программ в Реестре программ для ЭВМ [[130](#bookmark103)―[133](#bookmark106)], 11 материалов в иных периодических изданиях и сборниках конференций [[110,](#bookmark91) [111,](#bookmark92) [114,](#bookmark95) [116,](#bookmark97) [119,](#bookmark98) [120,](#bookmark99) [134,](#bookmark107) [136,](#bookmark109) [141,](#bookmark111) [146,](#bookmark112) [147](#bookmark113)], 1 отчет о НИР [[101](#bookmark84)], в том числе 4 работы опубликованы без соавторов.

***Структура и объем работы.*** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 198 наименований и 6 приложений. Основной текст изложен на 149 страницах, объем приложений 28 страниц. Работа содержит 6 таблиц и 53 рисунка.

***Основное содержание работы.***

*В первой главе* на основе проведенного анализа современного состояния  
моделирования и оценки надежности ИСБ охраняемых объектов предложена  
классификация ИСБ, отличающаяся от известных использованием 3 критериев; с  
позиции системного подхода проведена функционально-структурная

декомпозиция ИСБ, в результате которой разработаны базовая структурная и структурно-параметрическая модель ИСБ, позволяющие исследовать надежность и качество функционирования любых структур ИСБ. Для моделирования и расчета надежности ИСБ, а следовательно, для преобразования структурно-параметрической модели ИСБ в логическую, а затем в расчетную вероятностную, по 5 основным критериям обосновано использование общего логико-

14

вероятностного метода и технологии автоматизированного структурно-  
логического моделирования, реализованной в программном комплексе  
«АРБИТР». Для проведения экспертизы и оценки структур ИСБ, предлагаемых  
для внедрения на охраняемом объекте, в целях научно обоснованного выбора  
лучшей из них для обеспечения противокриминальной и антитеррористической  
защиты одного объекта недостаточно использовать только показатели  
надежности, требуется использование обобщенных показателей «качество-цена».  
При этом требуется качественная оценка эффективности выполнения целевой  
функции конкретной структурой ИСБ, которая может быть получена с  
использованием современной теории экспертных систем. Согласно современной  
теории экспертных систем решение основной научной задачи диссертационного  
исследования заключается в погружении численной задачи оценки надежности  
ИСБ в экспертную оболочку в классе DMS (Data Mining System) с  
использованием нейронных сетей. Предложена общая схема проведения  
диссертационного исследования.

*Во второй главе* формализована задача моделирования ИСБ, при этом приняты основные ограничения и допущения, сформирован перечень оцениваемых показателей надежности ИСБ, уточнены логические критерии функционирования ИСБ, на основе предложенной в первой главе структурно-параметрической модели разработаны схемы функциональной целостности ИСБ, формально описывающие исследуемые режимы функционирования ИСБ, в том числе немонотонные, учитывающие группы несовместных событий (успешного выполнения целевой функции ИСБ и успешного воздействия на ИСБ со стороны человека-правонарушителя и других дестабилизирующих факторов), чего лишены классические методы структурного моделирования надежности систем, при этом использован базис логических операций И, ИЛИ, НЕ. Предложен способ подготовки исходных данных для проведения расчетов показателей надежности ИСБ. Проведен вычислительный эксперимент, в результате которого получены количественные показатели надежности ИСБ (коэффициенты готовности и

15

вероятности готовности), а также значимости, положительные и отрицательные вклады элементов в общую надежность ИСБ.

*В третьей главе* выполняется последовательность действий погружения численной задачи оценки структур ИСБ в экспертную оболочку в классе DMS. При этом разработаны метод и алгоритм коррекции результатов анализа иерархий функциональных возможностей ИСБ на основе ассоциативного обучения нейронной сети. Метод обеспечивает необходимое сглаживание результатов экспертизы с возможностью различной интерпретации оценок после их визуализации и обладает большей устойчивостью к случайным погрешностям экспертизы. Проведена дальнейшая классификация и прогнозирование структур ИСБ на основе моделирования предварительно обученного персептрона. Предложенный метод погружения численной задачи сравнения структур ИСБ в экспертную оболочку в классе DMS предназначен для совершенствования решения класса вычислительных задач оценки и сравнения технических объектов как по показателям надежности, так и по показателям «качество-цена».

*В четвертой главе* приводится краткая характеристика разработанного  
комплекса из четырех программ для ЭВМ, базирующихся на основе предложенных  
моделей, методов и алгоритмов: 1) «Программа автоматизированного расчета  
показателей надежности элементов интегрированных систем безопасности — ПК  
«АРПНЭИСБ» [[130](#bookmark103)]; 2) «Программа коррекции результатов анализа иерархий  
функциональных возможностей интегрированных систем безопасности методом  
ассоциативного обучения нейронной сети» [[132](#bookmark105)]; 3) «Программа прогнозирования  
и классификации обобщенных показателей качества приборов и структур  
интегрированных систем безопасности» [[133](#bookmark106)]; 4) «Программа

автоматизированного составления планов повышения надежности

интегрированных систем безопасности — ПК «РЕЗЕРВ ИСБ» [[131](#bookmark104)].  
Эффективность программ подтверждается проведенными вычислительными  
экспериментами. Приведены особенности разработанных алгоритма и

программного комплекса автоматизированного составления планов повышения надежности ИСБ – ПК «Резерв ИСБ». Формируемый план подразумевает

16

выполнение мероприятий по резервированию элементов, дающих существенный положительный вклад в общую надежность системы, или по замене этих элементов на более надежные. План формируется в виде таблиц Microsoft Excel и является инструкцией о порядке приобретения элементов ИСБ с учетом их значительного положительного вклада в общую надежность и стоимостных показателей и является составной частью перспективной программы обеспечения надежности, предусмотренной требованиями государственных стандартов в области надежности технических систем. Исходными данными для проведения вычислительных экспериментов послужили:

* положительные вклады элементов **^** ИСБ, полученные во 2 главе;
* стоимостные показатели элементов ИСБ: текущая стоимость (фактическая по проекту), минимальная и максимальная стоимости на рынке охранных услуг.

*В заключении* приводятся основные научные результаты диссертационного исследования, выводы о проделанной работе, а также перспективы их дальнейшего использования.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе диссертационного исследования были предложены модели, численные методы, алгоритмы и комплекс программ для оценки надежности интегрированных систем безопасности и автоматизированного составления планов повышения их надежности. Решены поставленные задачи и получены следующие основные научные и практические результаты:

1. В результате функционально-структурной декомпозиции получены базовая структурная и структурно-параметрическая модели ИСБ, которые впервые учитывают полный набор совместно действующих традиционных систем безопасности и позволяют исследовать надежность любой проектируемой или эксплуатируемой ИСБ [[107,](#bookmark89) [127,](#bookmark101) [129,](#bookmark102) [135](#bookmark108)]. Обоснован набор методов моделирования и интеллектуального анализа для расчета и оценки надежности ИСБ.
2. Структурно-параметрическая модель ИСБ преобразована в схемы функциональной целостности ИСБ, которые позволяют учитывать группы возможных несовместных событий, влияющих на надежность, производить дальнейшее преобразование в логические и вероятностные модели, производить точные расчеты количественных показателей надежности ИСБ [[105,](#bookmark87) [109,](#bookmark90) [112,](#bookmark93) [113,](#bookmark94) [115](#bookmark96)].
3. Разработаны численный метод и алгоритм коррекции результатов анализа иерархий функциональных возможностей ИСБ, которые позволяют производить оценку ИСБ как на основе показателей надежности, так и на основе комплексного показателя «качество-цена», дальнейшую классификацию исследуемых структур и прогнозирование состояния новых структур ИСБ с возможностью различной интерпретации результатов после их визуализации. Метод обладает большей устойчивостью к случайным погрешностям экспертизы, чем непосредственное применение метода анализа иерархий, не менее чем в 5 раз. Разработан алгоритм автоматизированного составления планов повышения надежности ИСБ, который позволяет решить прямую задачу ― составление

147

эффективного плана повышения надежности ИСБ и получение фактической суммы затрат на его реализацию и обратную задачу ― составление эффективного плана повышения надежности ИСБ при заданной сумме затрат [[106,](#bookmark88) [131,](#bookmark104) [134](#bookmark107)].

4. Разработан комплекс программ для ЭВМ, базирующийся на предложенных моделях, методах и алгоритмах, который позволяет снизить неопределенность исходных данных и повысить обоснованность принятия решений при расчете и оценке надежности ИСБ, при разработке программ обеспечения надежности ИСБ [[130](#bookmark103)–[133]](#bookmark106).

Теоретическая значимость результатов работы заключается в

совершенствовании решения класса вычислительных задач: оценки и сравнения технических объектов как по чисто техническим характеристикам и показателям надежности, так и по показателям «качество-цена»; прогнозирования и визуализации свойств новой структуры объекта экспертизы.

Практическая значимость результатов работы заключается в перспективах  
расширенного применения комплекса проблемно-ориентированных программ при  
сравнении и обоснованном выборе той или иной структуры ИСБ, а также для  
разработки программ обеспечения надежности, для дальнейших выработки,  
обоснования и оптимизации технических решений с учетом экономической  
целесообразности на этапах проектирования, внедрения, приемки и эксплуатации  
ИСБ на объектах различного функционального назначения. Полученные  
результаты ориентированы на организационно-методическую поддержку

деятельности инженерно-технических работников, повышение качества учебного процесса в рамках подготовки технических специалистов в области проектирования и эксплуатации систем безопасности

Перспективами развития полученных результатов могут быть дальнейшие исследования сложных организационно-технических систем в целях разработки моделей, алгоритмов и общей методологии оценки их надежности, безопасности, живучести, устойчивости и эффективности.