Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого
Институт компьютерных наук и технологий

На правах рукописи

Шарков Илья Кириллович

Имитационное моделирование и оценка качества физической защиты охраняемых объектов

Направление подготовки
09.06.01 «Информатика и вычислительная техника»
Код и наименование

Направленность
05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)»
Код и наименование

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)

Автор работы: Шарков Илья Кириллович
Научный руководитель: д.т.н. Сениченков Юрий Борисович

Санкт Петербург – 2021

Научно-квалификационная работа выполнена в Высшей школе киберфизических систем и управления (ВШ КФСУ) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Директор ВШ/зав. кафедрой:	Шкодырев Вячеслав Петрович доктор технических наук, профессор.
Научный руководитель:	Сениченков Юрий Борисович, доктор технических наук, профессор.
Рецензент:	Крылов Виктор Михайлович, к.т.н., доцент, ООО «ПЕНТАКОН», генеральный директор

С научным докладом можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» и на сайте Электронной библиотеки СПбПУ по адресу: http://elib.spbstu.ru

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Задача охраны периметра и важных территориальных объектов является фундаментальной с первых моментов появления частной собственности до современных вопросов безопасности. Это справедливо как для гражданских, так и для военных объектов. Хорошо организованная система физической защиты (СФЗ) охраняемого объекта будет качественно отвечать выставленным к ней требованиям по защищенности и при этом будет лишена избыточности или недостатков. В зависимости от конкретных целей, которые ставятся при решении задачи безопасности объекта, меняется структура СФЗ и её сложность, компонентные элементы и регламенты работы службы безопасности. При этом, чем сложнее структура СФЗ и её внешние условия, тем труднее достоверно оценить её реальное качество по обеспечению защиты от актов незаконного вмешательства внешнего нарушителя с любых направлений при любых внешних и внутренних условиях.

Как показывает практика, крайне сложно создать идеальную систему физической защиты, которая бы полностью учитывала и нейтрализовала все возможные угрозы. Важным является четкое понимание качественных характеристик СФЗ и оценка её эффективности в виде количественных оценок. Эти данные позволят понять сильные и слабые стороны системы, а так же помогают создать наиболее сбалансированные варианты, где высокое качество защиты представлено адекватными мерами их организации.

Все это является современной и актуальной задачей для системного анализа, предлагающего применение своих методов для исследования сложных многокомпонентных систем физической защиты. Это предполагает сбор и обработку информации о функционировании СФЗ, а так же поднимает вопросы моделирования воздействия внешнего нарушителя на неё. Анализ работы такой системы в условиях атаки нарушителя возможен с помощью подходов компьютерного моделирования. А результаты этого анализа ложатся в основу

оценок качества охраны для принятия мер по оптимизации и повышения эффективности её функционирования.

Для решения задач анализа и оценки СФЗ были разработаны различные подходы компьютерного моделирования. Такие подходы позволяют формировать оценки эффективности проектов СФЗ, определиться со стратегией защиты на разных участках СФЗ и степенью эффективности этих стратегий в противодействии тем или иным угрозам.

Разработка новых и совершенствование существующих методов и средств анализа СФЗ позволит преодолеть ряд недостатков других подходов моделирования и оценки качества таких систем.

Имитационное моделирования является современным подходом в задачах моделирования и оценки СФЗ, появившимся в последние годы с увеличением возможностей вычислительных машин. С помощью этого подхода осуществимы исследование и анализ крупномасштабных систем и их процессов работы, а так же моделирование поведения нарушителя и охранников с приближением к реальности. Всё это позволяет на основе статистики проведенных экспериментов получать необходимые количественные оценки качества.

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка способа имитационного моделирования СФЗ на базе агентного подхода и алгоритма событийно-управляемых траекторий для получения количественных оценок качества СФЗ.

Задачи исследования:

1) Разработка имитационных моделей СФЗ, сотрудников служб безопасности объекта и нарушителя с помощью агентного подхода.

2) Разработка алгоритма событийно-управляемых траекторий для формирования сценариев проникновения нарушителя и движения охранников, применяемого совместно с эвристическим алгоритмом поиска оптимального пути «Polaris» без заранее созданного графа.

3) Разработка графического языка формирования моделей СФЗ, который на интуитивном уровне, позволяет описать структуру системы и логику взаимодействия её элементов. Такая структура будет представлять собой фактический чертеж СФЗ (2D или 3D) с модельными характеристиками каждого её элемента.

4) Разработка метода оценки качества защиты объекта на основании статистических экспериментов с моделью СФЗ и проникающим нарушителем.

Научная новизна

1) Научная новизна применения имитационного моделирования в задачах моделирования и оценки СФЗ с использованием агентного подхода заключается в том, что становится возможным проведение исследования сложных крупномасштабных систем охраны объекта. СФЗ такого объекта будет представлена не обобщающими характеристиками, а отдельными структурными элементами инженерно-технических средств охраны и службы безопасности объекта. Каждый элементы может существовать и функционировать независимо от всей системы, но при этом в совокупности с другими будет характеризовать её реакции и воздействовать на окружение в моделируемой среде. Агентами будут представлены как элементы СФЗ (средства охраны и служба безопасности), так и проникающий нарушитель.

2) Научная новизна применения событийно-управляемых траекторий проникновения нарушителя с применением эвристического алгоритма поиска пути Polaris для описания движения нарушителя и его воздействия на СФЗ заключается в том, что:

- гибридные автоматы применяются для формирования траекторий, событиями в которых являются взаимодействие человека и СФЗ, а так же логико-вероятностные характеристики, описывающие поведение этого человека.
- отпадает необходимость в предварительном анализе, создании и использовании графа для проведения имитационного эксперимента.

Событийно-управляемая траектория представляет собой последовательность событий на пути нарушителя, которые оказывают влияние как на СФЗ, так и на поведение самого нарушителя: его скорость, осторожность и направление. Использование эвристического алгоритма поиска пути Polaris заключается в том, что появляется возможность покрыть все сценарии проникновения, не укладывающиеся в варианты заранее заданных графов. В случае сравнения с поиском путей по сложным графам, предлагаемый алгоритм преобладает как в скорости генерации траекторий, так и в характере их формы.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая ценность научной работы:

- Применение агентного подхода моделирования, который не использовался для имитационного моделирования и оценки СФЗ в распространённой практике;
- Использование подхода с отказом от заранее заготовленных графов проникновения для целей моделирования за счет использования алгоритмов событийно-управляемых траекторий и алгоритмов эвристического поиска путей без графов.

Практическая ценность научной работы:

- Разработана методика имитационного моделирования и оценки СФЗ с помощью агентного подхода и событийно-управляемых траекторий;
- Разработан программный комплекс моделирования и количественной оценки качества систем физической защиты, с помощью которого:
    - автоматизирован процесс создания модели СФЗ;
    - повышена объективность исходных данных модели;
    - возможно получение эскизного чертежа проекта СФЗ на основе созданной модели.

Апробация работы

Результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях с публикацией работ в сборниках трудов:

- «Компьютерное моделирование 2017» (Санкт-Петербург);
- 13 апреля 2019 года – SEIM-2019 (Санкт-Петербург);
- 30-31 мая 2019 года пройдет IX Международный форум «Безопасность на транспорте» (Санкт-Петербург);
- 21-22 апреля 2020 Skolkovo – STARTUP VILLAGE (Красноярск).

Публикации

1. Шарков И.К. Применение ООМ при создании моделей систем защиты периметра. // "КОМОД-2017". [Электронный ресурс]. URL: http://dcn.icc.spbstu.ru/index.php?id=377&L=2%252527%2522 (дата обращения: 01.10.2018).

2. Шарков И.К., Сениченков Ю.Б. Генерация траекторий для задач моделирования СФЗ. В сборнике: Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томский политехнический университет. 2019. С. 122-123.

3. Шарков И.К., Желудков Е.А. Применимость эвристического алгоритма для задач поиска траекторий движения через систему физической защиты. В сборнике: SEIM-2019. 2019. С. 34-40.

4. Шарков И.К. О построении траекторий движения на охраняемых объектах. В сборнике: НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием. 2019. С. 43-46.

5. Шарков И.К. Программный комплекс «АКИМ-ОНЛАЙН» / Крылов В.М., В.Р. Квачадзе, И.К. Шарков, Ю.Б. Колесов, Д.Б. Инихов – Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019665127, 20.11.2019. Заявка № 2019664336 от 12.11.2019.

Представление научного доклада: основные положения

Представление научного доклада об основных результатах научно-квалификационной работы состоится 16 сентября 2021 г. в 10 утра на открытом заседании государственной экзаменационной комиссии.

Научный доклад представлен в виде данного доклада и черновика диссертации. С текстом доклада можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» и на сайте Электронной библиотеки СПбПУ по адресу: http://elib.spbstu.ru

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** научной работы описывается и обосновывается актуальность темы исследования, затрагивающая область моделирования оценки качества СФЗ. Формулируются основные цели и задачи, объекты и предметы исследования в области, выносимые на защиту. Обосновывается научная новизна и практическая ценность. Описывается краткое содержание исследовательской работы.

В **первой главе** рассматривается область проблематики разработанного в результате исследовательской работы решения, дается обзор понятия систем физической защиты (СФЗ), их состава и количественной оценки качества их работы. Так же осуществляется обзор методов и их недостатков для получения таких количественных оценок качества:

1. Натурные испытания (тестовые воздействия на периметр СФЗ или учения с проникновением условного нарушителя);
2. Экспертная оценка качества СФЗ на основе анализа проектной документации и лабораторных (полевых) исследований на территории объекта (субъективное мнение и невозможность учесть все возможные недостатки системы);
3. Компьютерное моделирование (современный подход к анализу и оценке СФЗ в её цифровом представлении).

Во **второй главе** рассматривается общий подход компьютерного моделирования в задачах оценки и анализа уязвимости СФЗ охраняемых

объектов. Основное положение касается того, что моделирование и анализ СФЗ происходят на основе пути проникновения нарушителя через СФЗ. Такой путь может быть представлен как в виде отдельной заранее известной экспертной траектории, так и в виде графов путей проникновения (событийно-ориентированных), описывающих всю СФЗ вершинами графа. В случае предлагаемого в диссертации метода, такой граф не задается изначально (считается неизвестным), а все пути строятся алгоритмами поиска пути без графа.

Такой путь или граф путей предполагают возможные маршруты проникновения нарушителя и комбинации событий на них. Все события заданы и рассчитываются на узловых точках такого графа или на ребрах между ними.

Сам возможный граф путей для задач моделирования может быть представлен в любом виде, требуемом разными подходами. В случае предлагаемого диссертацией – граф считается неизвестными.

В **третьей главе** осуществляется обзор распространенных и опубликованных существующих подходов. Обзор составлен таким образом, что объединяет существующие подходы в несколько групп, представляемых схожим или одинаковым методом моделирования и получения оценок качества СФЗ. Всего выделено четыре группы таких подходов:

1. Оценка эффективности СФЗ на заданном пути при заданных условиях и состоянии системы;
2. Оценки вероятности обнаружения ($P_{Обн.}$) в случайной точке на территории объекта и перехвата ($P_{Пер.}$) нарушителя на пути до цели (напр., «САПР СИТЗО» Амулет);
3. Оценка эффективности СФЗ на основе анализа графов путей нарушителя по территории объекта (напр., «Итерация – Модель СФЗ» АО "Итерация");
4. Игровые и имитационные модели для оценки эффективности СФЗ (напр., «ПОЛИГОН» СНПО Элерон, «Итерация-СФЗ» Итерация, «АКИМ» ООО ПЕНТАКОН).

Каждая из групп рассмотрена отдельно, с приведением их описания, расчетных процессов, целей и задач моделирования, а так же ссылками на научные работы и разработки, где они описаны.

Первая группа отличается тем, что рассматривает отдельно взятый путь проникновения нарушителя, на котором расположены точки событий. Путь моделируется по времени движения нарушителя. Каждое событие на этом пути представляет собой препятствие или устройство обнаружения. Препятствия увеличивают время движения, а устройства обнаружения с заданной вероятностью вызывают реакцию СФЗ на воздействие проникающего. Ответной реакцией СФЗ являются действия сотрудников службы безопасности (СБ) объекта по выявлению места проникновения (сигнала тревоги) и движению на перехват. Ввиду вероятностной природы обнаружения, времени сдерживания нарушителя на препятствиях и времени ответной реакции со стороны СФЗ, оценка для таких путей проникновения формируется в виде вероятности обнаружения ($P_{Обн.}$) и перехвата ($P_{Пер.}$).

Вторая группа подходов моделирования отличается тем, что рассматривает проникновение нарушителя как точечное воздействие в случайной координате охраняемых зон. Методом статистических испытаний производятся испытания в этих точках с помощью тестируемого воздействия (появился нарушитель). В случае если нарушитель был обнаружен в точке появления с заданной вероятностью (или совокупностью вероятностей, если наложены несколько зон обнаружения), то осуществляется формульный расчет вероятности своевременного прибытия охраны в точку тревоги ($P_{Прибыт.}$). При этом производится расчет ожидаемого времени движения нарушителя до цели и охранников до точки тревоги таким образом, что для каждой координаты СФЗ объекта сформирован свой набор параметров, описывающих дисперсию и математическое ожидание времени для нарушителя и охраны.

Третья группа подходов рассматривает моделирование проникновения нарушителя по заданному (описанному) графу путей. В этой группе можно обнаружить множество различных методик моделирования и оценки, которые

выполняют, в общем приближении, схожую задачу – поиск оптимального пути по графу, нахождение самого уязвимого пути на нем и оценку защищенности объекта по вероятностям обнаружения и нейтрализации.

Однако между собой методы моделирования и оценки различаются. Так можно выделить:

- Моделирование по заранее известному ориентированному графу, где узлы на пути движения нарушителя представляют каждое следующее возможное препятствие на пути к цели.

  Такой подход предоставляет возможность аналитического расчета первой группы для всех возможных (конечных) вариантов пути нарушителя. Пути нарушителя формируются путем комбинаторного перебора. Такие реализации есть в ASSES, SAVI (США) и «Веге-2» (СНПО Элерон).

- Моделирование по неориентированному взвешенному графу, где осуществляется поиск оптимального пути (по длине, обнаружению или результативности атак).

  Такой подход предполагает, что каждая вершина и/или ребро графа будут описаны параметрами (весами) вероятностей и времени. При этом вероятности могут быть как по обнаружению ($P_{Обн.}$), так и по нейтрализации ($P_{Нейтр.}$) со стороны охраны. Задача поиска самых уязвимых путей на таком графе сводится к задаче нахождения на имеющемся взвешенном графе таких путей, где вероятности обнаружить нарушителя и, соответственно, перехватить его будет наименьшими.

  Кроме того, возможно применение моделей нарушителя, описанных матрицами параметров. В этих матрицах они могут быть записаны как вероятности их поведения, так и конкретные экспертные данные о времени преодоления тех или иных препятствий и вероятности обнаружения теми или иными устройствами.

- Моделирование по графам с использованием нечетких чисел для оценки его путей. Данные подходы рассматривают поиск путей по графу с помощью каких-либо алгоритмов (например, Дейкстры), а с помощью нечетких множеств описывают вероятностную природу атак нарушителя.
- Моделирование по графам с использованием нечетких чисел и обработкой с помощью генетических алгоритмов.
- Имитационное моделирование с использованием графа, сформированного на базе геометрии СФЗ (например, из BIM версии проекта СФЗ) или с помощью наложенного графа с высокой дискретизацией, где путь нарушителя формируется с помощью алгоритма поиска, а его движение управляется логико-вероятностными алгоритмами.
- Игровое моделирование с расчетом исхода столкновений нарушителей и отрядов охраны. В них рассматриваются разыгранные сценарии, полученные в результате ситуационного моделирования.

  Такой подход построен на базе теории игр — антагонистической игра (двух лиц) с нулевой суммой – и тоже участвует в формировании сценария. В данном случае противостоящие стороны выбирают тот или иной метод действия на основе минимальных и максимальных характеристик.

  Так же существует подход, где сценарий у игровой модели формируется с использованием конструктивов (элементарных компонентов) и агрегатов (совокупностей конструктивов), которыми описана модель СФЗ. Конструктивы влияют на текущее поведение нарушителя, последствия его решений проявляются на всей системе в целом.

В **четвертой главе** рассматриваются основные недостатки существующих подходов моделирования и оценки СФЗ и их существующие решения. В свою очередь решения не всегда обладают полнотой покрытия проблемы.

Были выделены следующие недостатки:

1. Моделируются уже спроектированные или построенные СФЗ.

   Таким образом, некоторые подходы не могут обеспечить моделирование эскизных систем, чтобы получить на раннем этапе прогнозируемую оценку для их реализации. Существующие решения не обеспечивают получение четкой формулировки состава будущей системы, а являются только рекомендациями по обеспечению нужного уровня защищённости.

2. Невозможно учесть все возможные сценарии и маршруты проникновения на заранее описанном графе путей.

   Любой граф не может предоставить всех возможных траекторий проникновения, что вызывает вопросы к достоверности оценки для всей системы в целом на основе ограниченного набора траекторий.

   Решения с высокой степенью детализации и дискретизации графов имеют ограничения по быстродействию расчетов и требуют пропорционально большего количества исходных данных для описания всех вершин и ребер графа.

3. Используются экспертные параметры в качестве исходных данных для расчета оценки вероятности, что вносит в них субъективную составляющую.

   Подходы с использованием нечетких чисел не всегда решают эту проблему, так как усложняют читаемость как самой модели, так и восприятие результатов её оценки.

В **пятой главе** рассматривается предлагаемый подход имитационного моделирования на базе агентного подхода и событийно-управляемых траекторий. Кратко сформулированы основные задачи, поставленные для разработки такого нового метода. Произведен обзор основных решений предлагаемого метода моделирования и их совместное применение.

1. Рассмотрен метод создания необходимой математической модели с помощью агентного подхода описания модели СФЗ, службы безопасности и

проникающего нарушителя. Этот подход позволяет с необходимой подробностью и точностью описать всю структуру системы защиты. СФЗ должна быть описана в виде её структурных элементов (агентов), выполняющих независимые друг от друга функции, но вместе формирующую единую систему и влияющие на работу друг друга через внешние связи. Такой подход позволяет учесть полноту функций и реакций системы на воздействие нарушителя без их обобщения в виде точек контроля или заранее известных препятствий на пути проникновения, как это делается в некоторых других подходах.

Для разработки модели СФЗ и проникновения был выбран отечественный продукт имитационного моделирования – AnyDynamics (так же ранее известный как Rand Model Designer), обладающий подходящим функционалом и возможностями, требуемый в поставленных задачах. Модели, созданные с его помощью, обладают хорошей читаемостью за счет использования UML. Таким образом повышается прозрачность, как на стороне разработки СФЗ модели, так и её применения.

Для составления математической модели были выделены следующие классы и их наследование:

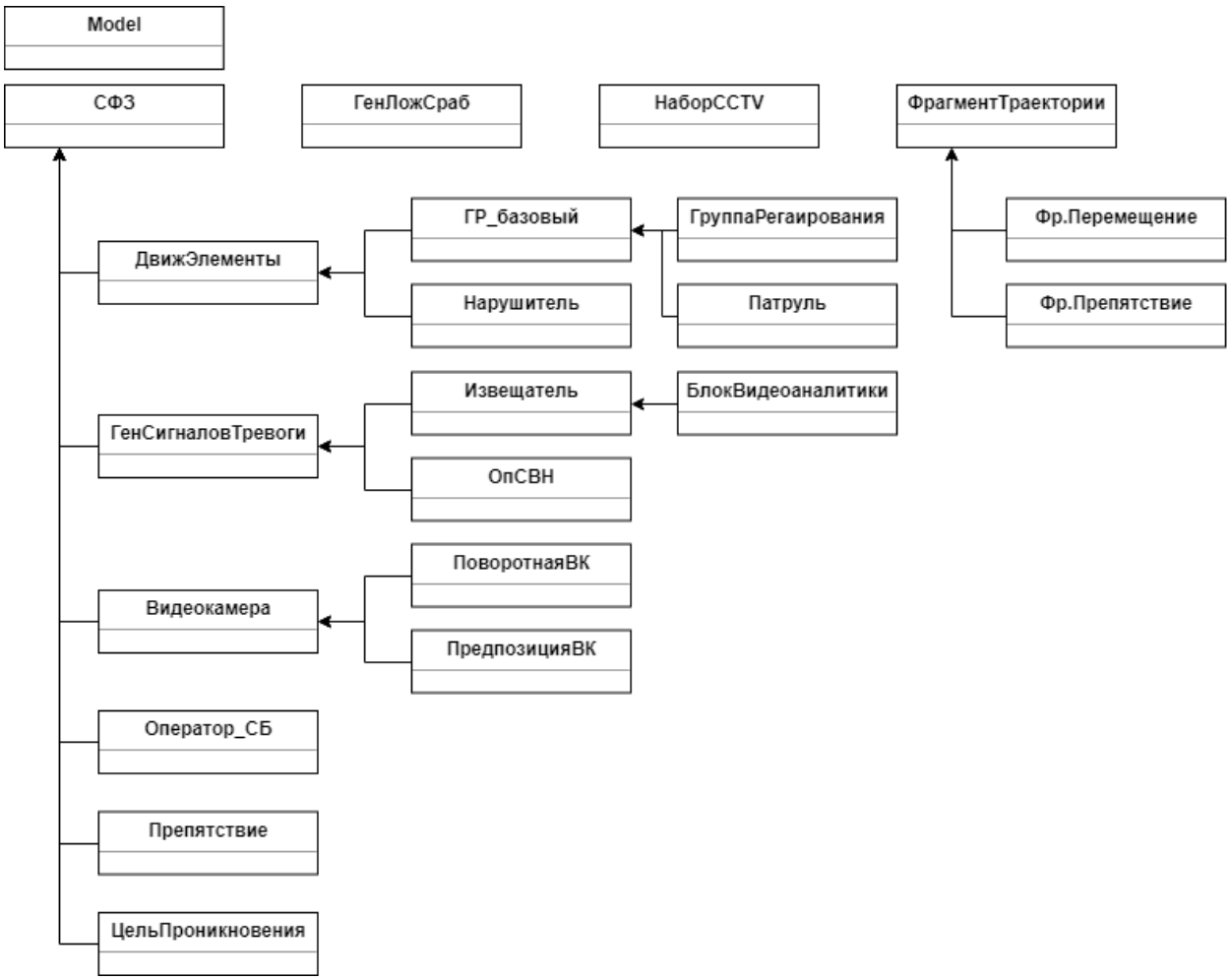

Рис. 1 – Классы элементов и их наследование

2. Рассмотрен метод применения алгоритма событийно-управляемых траекторий и эвристического алгоритма «Polaris» для формирования сценариев моделирования, не требующих использовать заранее подготовленный экспертный граф путей проникновения.

Алгоритм событийно-управляемых траекторий основан на гибридных автоматах. С его помощью формируется полный состав событий на пути нарушителя, связанных с его движением через СФЗ. Алгоритм состоит из трех компонентов: абстрактного класса «ФрагментТраектории», класса «ФрагментПеремещение» и класса «ФрагментПрепятствие».

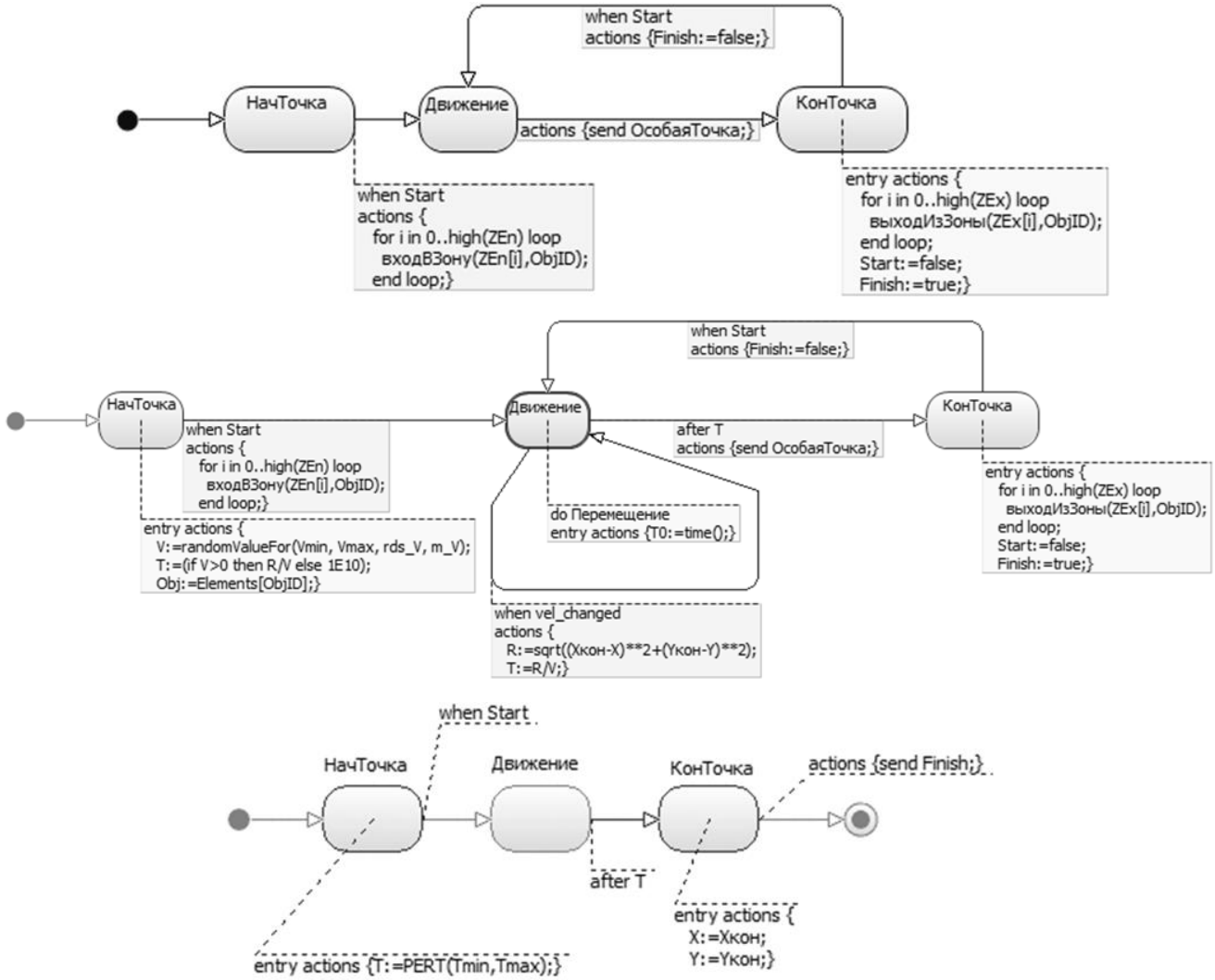

Рис. 2 – Абстрактный класс «ФрагментТраектории» и его наследуемые классы «ФрагментПеремещение», «ФрагментПрепятствие»

Вместе данные классы формируют событийно-управляемую траекторию проникновения, которая может быть представлена в виде последовательности состояний:

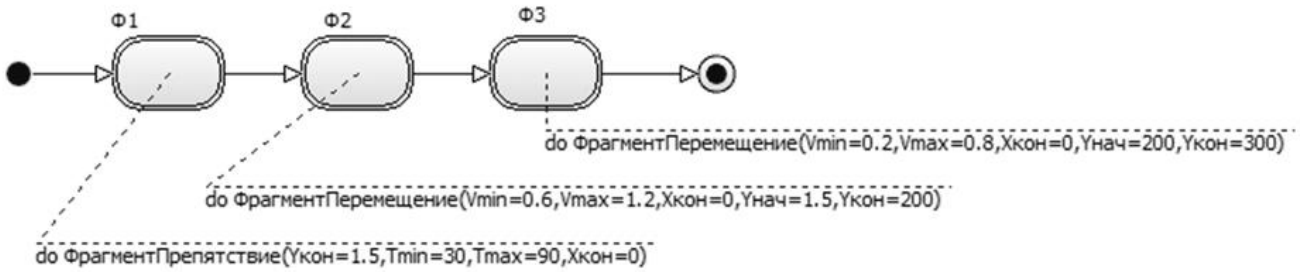

Рис. 3 - Представление траектории в виде последовательности состояний

Путь движения нарушителя формируется с помощью разработанного для данного подхода эвристического алгоритма «Polaris», который позволяет составить маршрут между двумя точками на территории с различными препятствиями. В своей основе алгоритм опирается на поиск всех непреодолимых препятствий на линии между двумя точками и формировании пути обхода между ними. Алгоритм в упрощенном виде можно увидеть на рис. 4:

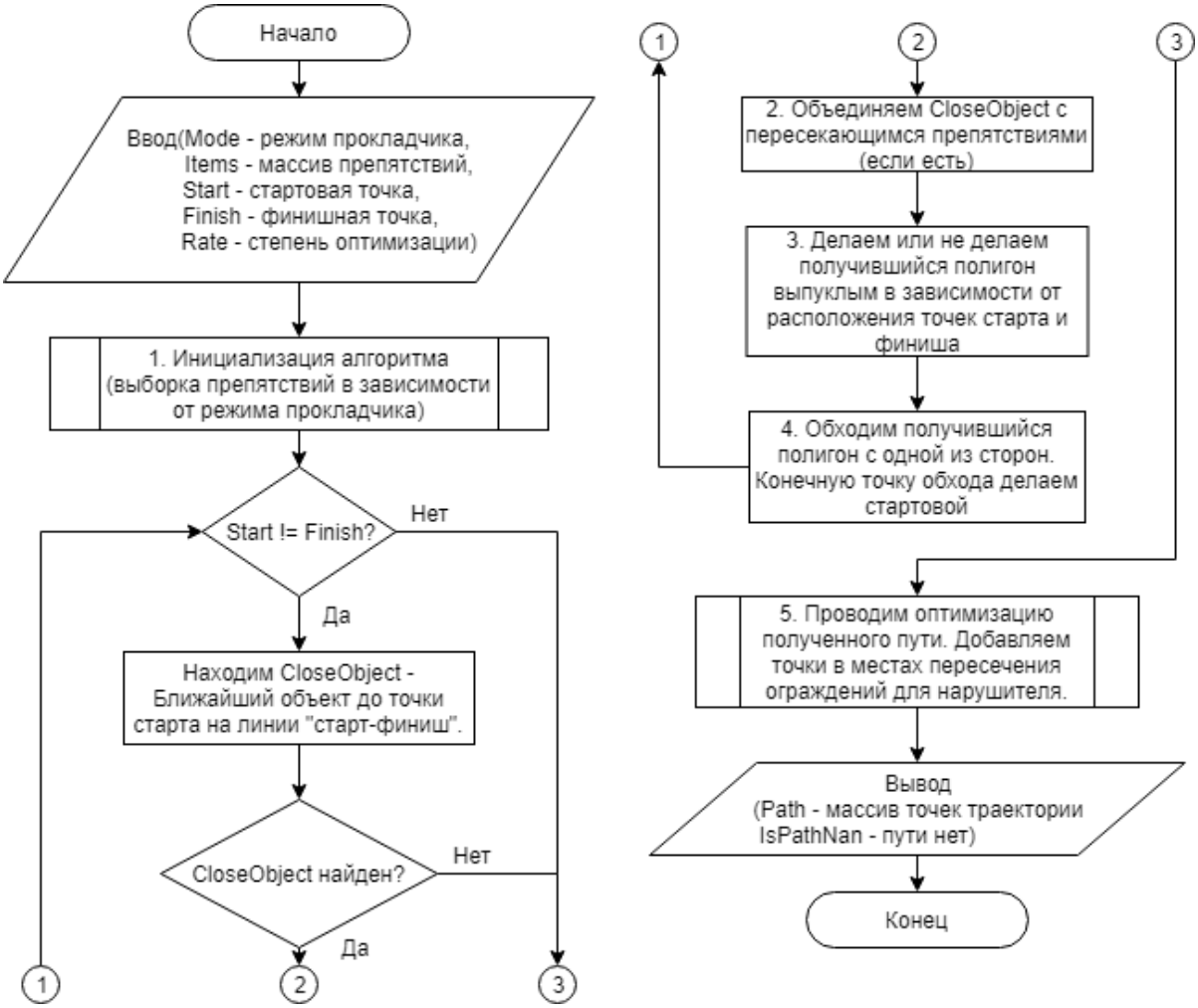

Рис. 4 – Блок-схема алгоритма «Polaris»

Совместно оба эти алгоритма позволяют реализовать метод, при котором нет необходимости описывать СФЗ в виде графа путей и ограничивать набор сценариев возможными по нему путями.

3. Рассмотрен метод получения количественных оценок качества СФЗ с помощью статистического эксперимента. Такой метод позволяет провести над созданной моделью вычислительный эксперимент, где мобильный агент нарушителя будет двигаться через многоагентную структуру охраны, а

противостоять ему будут мобильные агенты охраны. Исход каждого эксперимента будет записан в виде итоговых характеристик времени движения нарушителя, времени и устройства обнаружения, времени и места нейтрализации, а так же самих фактов событий обнаружения, нейтрализации и многих других.

На основе собранной статистики формируется вероятностная оценка. Для того чтобы определить достаточное число экспериментов для формирования оценки с необходимой точностью, выбран подход с использованием доверительного интервала. Подход гласит, что вероятность того, что вероятность p и частота $\overline{P}$ будет отличаться не более чем на величину ε определяется по формуле:

$$P\left(\left|\overline{P} = p\right| < \varepsilon\right) = 2\Phi\left(\frac{\varepsilon\sqrt{N}}{\sqrt{p(1-p)}}\right) \qquad (1)$$

4. Рассмотрен способ разработки и интеграции решений предлагаемого метода моделирования в сторонние программные средства, создаваемые для задач такого моделирования и оценки качества СФЗ. Данный способ осуществим с помощью возможности AnyDynamics создавать встраиваемую имитационную модель в виде динамической библиотеки Windows (DLL).

Такая модель имеет описанный интерфейс взаимодействия с внешним приложением. Это позволяет внешнему приложению отправлять в динамическую библиотеку исходные данные тестируемой СФЗ для последующего её имитационного моделирования с проникновением нарушителя.

5. Рассмотрен метод создания модели СФЗ с помощью графического языка моделирования. Такой язык моделирования может быть реализован в стороннем программном средстве. Он должен позволять составлять чертеж или иное необходимое представление о СФЗ с возможностью указать все её параметры в виде вероятностных характеристик из паспортных данных и интервалов для случайных характеристик, нельзя достоверно предсказать экспертным методом.

Конструктор математической модели СФЗ должен формировать её структуру таким образом, чтобы была осуществима возможность моделирования с применением описанного агентного подхода и событийно-управляемых траекторий. Т.е. каждый элемент системы должен быть представлен собственным

экземпляром в её цифровом двойнике, проникновение нарушителя должно описывать его местами возникновения и целями движения, операторы и охранники должны иметь свои координаты и тактики поведения.

Все параметры агентов (классов моделей) должны описываться либо известными объективными параметрами (фокусное расстояние, вероятность обнаружения датчика и иными ТТХ), либо случайными величинами, описанными допустимым интервалом и законом распределения, применимым для их формирования. Так, например, можно задавать время преодоления ограждения с помощью минимальных (Tmin) и максимальных (Tmax) значений времени и нормального закона распределения.

В **шестой главе** рассмотрены решаемые задачи предлагаемым подходом моделирования и оценки качества СФЗ, а так же преимущества над альтернативными подходами. Так как задачи были сформулированы исходя из желания преодолеть существующие недостатки других методов, то преимущества предлагаемого метода прямо противопоставлены им.

В **седьмой главе** рассматривается практическая реализация предложенного метода имитационного моделирования в специально разработанном в компании ООО «ПЕНТАКОН» программном комплексе «АКИМ». Описан состав программного комплекса, который включает в себя:

- математическую модель СФЗ и проникновения с описанными в пятой главе подходом агентного моделирования и алгоритмом событийно-управляемых траекторий;
- реализацию прокладчика «Polaris», генерирующего траектории между двумя точками в обход непреодолимых препятствий;
- графический язык моделирования для составления СФЗ в виде трехмерных чертежей.

Приведены описания параметрических моделей агентов и их графическое представление, а так же описан пример проведения статистических экспериментов с помощью программного комплекса.

Объекты, предмет и методы исследования

Объектом исследования научной работы является компьютерное моделирование систем защиты охраняемого объекта и проникновения нарушителя на его территорию с целью получения количественных оценок качества и эффективности СФЗ.

Предметом исследования научной работы является разработка нового подхода имитационного моделирования и оценки эффективности СФЗ

Методы исследования. Работа выполнена с использованием объектно-ориентированного языка моделирования с использованием стандарта UML для составления агентных моделей и алгоритмов проникновения для задач имитационного моделирования и оценки СФЗ.

Результаты и их обсуждение

Результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях с публикацией работ в сборниках трудов:

- «Компьютерное моделирование 2017» (Санкт-Петербург);
- 13 апреля 2019 года – SEIM-2019 (Санкт-Петербург);
- 30-31 мая 2019 года пройдет IX Международный форум «Безопасность на транспорте» (Санкт-Петербург);
- 21-22 апреля 2020 Skolkovo – STARTUP VILLAGE (Красноярск).

Предлагаемый метод был разработан с помощью пакета математического моделирования AnyDynamics и интегрирован в специально разработанный программный комплекс моделирования и оценки СФЗ «АКИМ.

Программный комплекс «АКИМ» был зарегистрирован на территории Российской Федерации. Свидетельство о регистрации ПО:

- Шарков И.К. Программный комплекс «АКИМ-ОНЛАЙН» / Крылов В.М., В.Р. Квачадзе, И.К. Шарков, Ю.Б. Колесов, Д.Б. Инихов – Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019665127, 20.11.2019. Заявка № 2019664336 от 12.11.2019.

Сертификат соответствия ГОСТ Р: №0343869.

Протокол испытаний: №0459/ИЛЭ08/19 от 26.11.2019 года.

Заключение

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача по моделированию и количественной оценке качества систем физической защиты на основе применения предложенного метода имитационного моделирования, базирующегося на агентном подходе моделирования и алгоритме событийно-управляемых траекторий проникновения.

Были получены следующие результаты:

1) Разработана имитационная модель СФЗ, сотрудников служб безопасности объекта и нарушителя с помощью агентного подхода.
2) Разработан алгоритм формирования событийно-управляемых траекторий для описания проникновения нарушителя и движения охранников, применяемый совместно с эвристическим алгоритмом поиска оптимального пути «Polaris» без заранее созданного графа.
3) Разработан графический язык формирования моделей СФЗ, позволяющий на интуитивном уровне описать структуру системы и логику взаимодействия её элементов.
4) Разработан метод оценки качества защиты объекта на основании статистических экспериментов с моделью СФЗ и проникающим нарушителем.

Для разработки моделей использовался пакет математического моделирования AnyDynamics, а так же были реализованы эвристический алгоритм поиска пути «Polaris» и программа графического редактора моделей, моделирования и анализа результатов «АКИМ».

Научной новизной исследования являются:

- предлагаемый метод имитационного моделирования СФЗ с агентным подходом моделирования, где каждый элемент системы, охранник и нарушитель могут существовать и функционировать независимо от других;

- формирование моделируемого процесса проникновения с помощью гибридных автоматов, выраженных событийно-управляемыми траекториями;
- формирование путей проникновения с помощью событийно-управляемых траекторий и эвристического алгоритма прокладчика путей, не требующих наличие заданного графа.

Практическая ценность научной работы заключается в:

- Повышении эффективности моделирования и оценки качества СФЗ,
- Повышении объективности исходных данных для каждого имитационного эксперимента,
- Получении эскизного проекта СФЗ (технического задания) на основе созданной модели.

Внедрение результатов. Результаты данной научной работы были успешно применены в практике моделирования и оценки качества СФЗ крупных объектов (аэропортов, объектов ТЭК и т.п.), участия в тендерах и проектных работах в компании ООО «ПЕНТАКОН».

Представленная работа удовлетворяет следующим пунктам паспорта специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям):

- п2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.
- п3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.
- п4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

- п5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.
- п11. Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества и надежности сложных систем.
- п12. Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.
- п13. Методы получения, анализа и обработки экспертной информации.

Список работ, опубликованных по теме научно-квалификационной работы

Публикации в изданиях, рецензируемых ВАК

1. Шарков И.К., Сениченков Ю.Б. Генерация траекторий для задач моделирования СФЗ / Шарков И.К., Сениченков Ю.Б. // Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томский политехнический университет – 2019. С. 122-123.

Публикации в других изданиях

1. Шарков И.К. Применение ООМ при создании моделей систем защиты периметра. // "КОМОД-2017". [Электронный ресурс]. URL: http://dcn.icc.spbstu.ru/index.php?id=377&L=2%252527%2522 (дата обращения: 01.10.2018).

2. Шарков И.К., Желудков Е.А. Применимость эвристического алгоритма для задач поиска траекторий движения через систему физической защиты. В сборнике: SEIM-2019. 2019. С. 34-40.

3. Шарков И.К. О построении траекторий движения на охраняемых объектах. В сборнике: НЕДЕЛЯ НАУКИ СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием. 2019. С. 43-46.

4. Шарков И.К. Программный комплекс «АКИМ-ОНЛАЙН» / Крылов В.М., В.Р. Квачадзе, И.К. Шарков, Ю.Б. Колесов, Д.Б. Инихов – Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019665127, 20.11.2019. Заявка № 2019664336 от 12.11.2019.

Аспирант _____/_____
(подпись) *ФИО*