
Ատենախոսու թյան թեման հաստատվել է Եվրոպական կրթական տարածաշրջանային ակադեմիայում:

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ. Է.Վ. Ղարսլյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տ.գ.դ. Թ.Ա. Նալչաչյան
տ.գ.թ. Զ.Ռ. Սարգսյան

Առաջատար կազմակերպության ղեկավար՝ ԶԶ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և
ավտոմատացման պրոբլեմներին
հետազոտություն

Ատենախոսու թյան պաշտպանությունը տեղի կունենա 2018թ. հունվարի 12-ին, ժամը 14⁰⁰-ին, ՀԱՊՀ-ում գործող «Կառավարման և ավտոմատացման» 032 Մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17 մասնաշենք):

Ատենախոսու թյանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2017թ. դեկտեմբերի 9-ին:

032 Մասնագիտական խորհրդի
Գիտական քարտուղար, տ.գ.թ.  Լ.Մ. Բունիայան

Тема диссертации утверждена в Европейской региональной образовательной академии

Научный руководитель: д.т.н. Э.В. Карсян

Официальные оппоненты: д.т.н. Т.А. Налчаджян
к.т.н. К.Р. Саргсян

Ведущая организация: Институт проблем информатики и
автоматизации НАН РА

Защита диссертации состоится 12-го января 2018г. в 14⁰⁰ ч. на заседании Специализированного совета 032 – “Управления и автоматизации”, действующего при Национальном политехническом университете Армении (НПУА), по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.
Автореферат разослан 9-го декабря 2017г.

Ученый секретарь
Специализированного совета 032
к.т.н.  Լ.Մ. Բունիայան

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Стремительные темпы развития науки и техники увеличивают объем знаний, необходимых человеку для достижения его целей. Передовые компьютерные телекоммуникационные технологии значительно повышают эффективность функционирования организаций, сокращают расходы всех ресурсов и сырья, экономят время принятия решений. При этом особую актуальность приобретает формирование и комплексное решение проблем, связанных с повышением кибербезопасности (снижением уровней рисков во всех сферах их применения), устойчивости и гибкости управления (в широком смысле робастности) социотехнических систем, которые все больше и больше приобретают инновационный характер.

В сфере кибербезопасности, в отличие от других отраслей, выгоды от инвестиций не являются денежными, а сводятся к снижению уровня уязвимости информационных систем и информационных активов, которые нуждаются в защите. Важная роль в исследовании данных проблем отводится разработке и реализации методов автоматизации и систем поддержки принятия решений, что позволяет повысить оперативность и уровень обоснованности решений, принимаемых человеком (организацией) в сложных ситуациях, характеризующихся высокой степенью неопределенности при выработке и реализации соответствующих стратегий управления.

В настоящее время большинство организаций (в т.ч. государства) при решении конкретных задач часто сталкиваются с нехваткой ресурсов, имеющих высокую степень неопределенности в области кибербезопасности. В таких условиях, учитывая сложный и стохастический характер киберугроз и сложность рассматриваемых задач, с целью защиты ресурсов кибербезопасности и информационных активов, а также оценки эффективности инвестиционных проектов и принятия соответствующих инвестиционных решений возникает необходимость разработки эффективных инвестиционных стратегий.

Большинству существующих прикладных программ автоматизированной оценки эффективности инвестирования в сфере кибербезопасности присущи следующие недостатки:

- сложность учета стохастического характера киберугроз;
- наличие высокой степени неопределенности в сфере кибербезопасности;
- сложность разработки инвестиционных моделей в условиях высокой степени неопределенности;
- малая эффективность статических моделей оценки инвестиций в сфере кибербезопасности;
- невозможность использования нескольких методов в рамках одной системы.

Исходя из вышеизложенного, актуальной становится разработка автоматизированной системы комплексного моделирования факторов неопределенности и риска, а также их влияния на инвестиционные решения, в том числе разработка моделей оценки эффективности инвестиций, позволяющих повысить оперативность и уровень обоснованности решений в сфере кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности.

Объект исследования. Объектом исследования являются кибербезопасность организации, связанные с ней информационные ресурсы и средства их защиты.

Предмет исследования. Предметом исследования является разработка автоматизированных моделей для оценки эффективности инвестиций и принятия инвестиционных решений в сфере кибербезопасности на основе теории реальных инвестиций в условиях высокой степени неопределенности.

Степень разработанности проблемы. В настоящее время при решении вышеуказанной проблемы получен ряд важных результатов с применением статических моделей, в которых вероятность возникновения угрозы не меняется с течением времени. Однако угрозы, по своей сути, динамичны и имеют высокий уровень неопределенности. Именно такие статические модели рассматриваются в исследованиях, проведенных Бодином, Батлером, Гордоном и Лоэбом, Хуангом, Мицци, Талау, Вонгом и другими авторами. Из упомянутых моделей наиболее известной и часто используемой можно считать однопериодную статическую инвестиционную модель Гордона-Лоэба.

В работе Тацуми и Гото с расширением однопериодной статической модели Гордона-Лоэба рассматривается динамическая модель, где киберугроза рассматривается как случайный процесс, в котором, однако, не учитывается высокий уровень неопределенности в сфере киберпространства.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка теоретических и методологических основ автоматизированной оценки эффективности инвестирования в сферу кибербезопасности, а также моделирование поведения инвесторов в условиях высокой степени неопределенности в этой сфере.

Для достижения намеченной цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- выявление возможности применения методов теории случайных процессов и результатов современных исследований реальных инвестиций для моделирования и автоматизации системы оценки поведения инвесторов в условиях высокой степени неопределенности;
- анализ методов и моделей автоматизированного моделирования стохастических систем в процессах принятия инвестиционных решений;
- разработка теоретических и методологических основ моделирования киберугроз путем оценки разного рода случайных процессов;
- исследование общих свойств и взаимосвязей между процессом инвестирования и неопределенностью, обусловленных наличием высокой степени неопределенности в киберугрозах;
- моделирование инвестиций в сферу кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности, описываемых важным классом стохастических процессов, в частности, шоке-броуновским движением;
- автоматизация процесса моделирования инвестиций в сферу кибербезопасности путем введения отдельных параметров, отражающих персональные характеристики специалистов, принимающих решения в сфере кибербезопасности;
- моделирование инвестиционных решений в условиях высокой степени неопределенности для управления киберресурсами на основе робастного стохастического динамического программирования;
- формирование концепций и архитектуры построения автоматизированной системы;

- разработка и реализация пакета прикладных программ (ППП) для реализации автоматизированной системы.

Теоретические и методологические основы исследования. В качестве методологической основы диссертации был использован системный подход, позволяющий исследовать особенности реальных инвестиций, сложный и стохастический характер киберугроз и систем кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности и разработать оптимальные инвестиционные модели.

В рамках диссертационной работы были применены общие методы системного анализа и автоматизированного моделирования.

Методы исследования. Анализ теоретических и методологических основ исследования данной проблемы, а также выбор объекта и предмета исследования, исходя из степени разработанности рассматриваемой проблемы, позволяют выбрать ряд методов исследования в сфере кибербезопасности с целью получения научно обоснованных результатов. В частности, в диссертационной работе использованы методы теории случайных процессов, функционального анализа, робастного стохастического динамического программирования и современные методы теории по инвестированию в условиях высокой степени неопределенности.

Научная новизна работы. Научная новизна диссертационной работы состоит в разработке моделей оценки эффективности инвестиций и концептуальном развитии поведения инвесторов в сфере кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности с применением современных теорий случайных процессов и реальных инвестиций. В диссертационной работе получены следующие результаты, отличающиеся новизной:

1. Разработаны теоретические и методологические основы автоматизированного моделирования угроз кибербезопасности на основе практически важных классов случайных процессов.
2. Разработаны процедуры исследования общих свойств и взаимосвязей между инвестированиями и неопределенностью в сфере кибербезопасности.
3. Разработана модель инвестиций путем введения индивидуальных параметров, отражающих персональную характеристику специалистов по принятию решений в сфере кибербезопасности.
4. Предложена модель инвестиций в сфере кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности на основе шоке-броуновского движения.
5. Предложена модель робастных инвестиционных решений для управления киберресурсами в условиях высокой степени неопределенности на основе робастного стохастического динамического программирования.
6. Разработана автоматизированная система принятия инвестиционных решений в сфере кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость исследования заключается в концептуальном развитии методов моделирования инвестиций и киберугроз в сфере кибербезопасности с применением современной теории случайных процессов и реальных инвестиций.

Практическая значимость исследования заключается в разработке и автоматизации моделей оценки эффективности и принятии инвестиционных решений в сфере кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности.

Достоверность и внедрение результатов работы. Достоверность результатов исследования обосновывается применением современных методов теории случайных процессов и теории реальных инвестиций, а также результатами практического использования предложенных в диссертации методов, алгоритмов и программ.

Модели и подходы, реализованные в диссертации, а также пакет прикладных программ были использованы для управления научно-аналитическими и прогнозными проектами в Национальном оборонном исследовательском университете Министерства обороны Республики Армения (Акт внедрения, N 340, 21.11.2017г.).

Основные положения работы. На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Теоретические и методологические основы автоматизированного моделирования угроз кибербезопасности на основе практически важных классов случайных процессов.
2. Процедуры исследования общих свойств и взаимосвязей между инвестициями и неопределенностью в сфере кибербезопасности.
3. Модель инвестиций путем введения индивидуальных параметров, отражающих персональную характеристику специалистов по принятию решений в сфере кибербезопасности.
4. Модель инвестиций в сфере кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности на основе шоке-броуновского движения.
5. Модель робастных инвестиционных решений для управления киберресурсами в условиях высокой степени неопределенности на основе робастного стохастического динамического программирования.
6. Автоматизированная система принятия инвестиционных решений в сфере кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности.

Апробация результатов работы. Основные научно-прикладные положения и результаты диссертационной работы докладывались на:

- ежегодных научных конференциях и научных семинарах кафедры “Информационные технологии и прикладная математика” Европейской региональной образовательной академии (2011-2015гг.);
- научных семинарах Национального университета обороны США (2014г.);
- научно-прикладных семинарах Французско-немецкого высшего инженерного института в РА (2013-2016 гг.);
- ежемесячных научных семинарах и конференциях Национального оборонного исследовательского университета Министерства обороны Республики Армения (2015-2016 гг.).

Публикации. Основные положения диссертации представлены в 13-и научных публикациях, список которых приводится в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы из 135 наименований. Основной объем диссертации составляет 123 страниц, включая 14 рисунков и 1 таблицу. Общий объем работы вместе с приложением – 128 страниц. Диссертация написана на армянском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и основные задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическое и практическое значение работы, а также основные положения, выносимые на защиту. Дано краткое содержание работы.

В первой главе проведен обзор литературы, посвященной инвестициям в сфере кибербезопасности. Показана необходимость обобщения статических моделей киберугроз в динамическом контексте. С учетом сложности задач, решаемых в рамках исследования, сделаны выводы о необходимости применения автоматизированного подхода к современному аппарату теории случайных процессов, стохастического динамического программирования и робастного принятия решений. В рамках диссертации для эффективности инвестиций в сфере кибербезопасности в качестве базовой модели была взята статическая однопериодная модель Гордона-Лоэба, согласно которой, с точки зрения инвестирования, информационная система характеризуется тремя основными параметрами: потерями денежных средств в случае сбоя системы - λ , вероятностью угрозы системы - ξ и вероятностью уязвимости системы - v . С учетом вышесказанного в случае успешной реализации угрозы рассчитаны ожидаемые потери L по формуле $L = \xi \lambda$, а в случае инвестирования организацией денежных средств ($z > 0$), чтобы минимизировать уровень повреждения информационной системы, уровень остаточного повреждения системы составит $S(z, v)$.

Ожидаемые доходы от инвестиций, т.е. минимизацию ожидаемых потерь инвестиций, рассчитаем по формуле

$$ENB(z) = (v - S(z, v))L, \quad (1)$$

а ожидаемую чистую прибыль:

$$ENB(z) = (v - S(z, v))L - z, \quad (2)$$

где $(v - S(z, v))$ - уровень остаточного повреждения системы.

Так как $S(z, v)$ можно интерпретировать как вероятность, то необходимо, чтобы имело место условие $0 \leq S(z, v) \leq 1$. Это объясняется тем, что функция определения уровня остаточного повреждения системы не может быть произвольной. Первый аргумент функции - вкладываемая сумма, а второй - вероятность, которая удовлетворяет условиям $z \geq 0$ и $0 \leq v \leq 1$.

Для обеспечения данного подхода к принятию инвестиционных решений в сфере кибербезопасности, как удобного инструмента разработки и управления инвестиционной политикой, необходимо учитывать, что в этом случае рассматривается однопериодная инвестиционная модель, а это означает, что все решения принимаются одновременно (целиком). Следовательно, инвестиционный процесс нельзя разделить на более мелкие этапы, и инвестиция реализуется целиком, что приводит к точечным результатам. То есть, эта модель статична и не полностью отражает динамическую сущность инвестиций в сфере кибербезопасности. Ее целесообразно применять, когда инвестиции осуществляются одновременно и в полном объеме.

Рассмотрим также модель, предложенную Тацуми и Гото, которая основана на расширении инвестиционной модели Гордона-Лоэба с использованием реальных

опционов, в которой повреждающая систему угроза ξ_t выражается через броуновское движение с отклонением μ :

$$d\xi_t = \mu \xi_t dt + \sigma \xi_t dw_t, \quad (3)$$

где индекс t - время расчета; dw_t - рост виннеровского процесса, а вышеприведенные коэффициенты отклонения - μ и волатильности - σ постоянны. В этом аспекте необходимо отметить, что в инвестиционной модели Гордона-Лоэба ξ_t рассматривается как вероятность, которая ограничена интервалом $[0,1]$. В отличие от статической однопериодной модели Гордона-Лоэба, данная модель позволяет включить динамику в модель оценки эффективности инвестиций, не принимая во внимание большую неопределенность в сфере кибербезопасности.

Во второй главе разработаны модели киберугроз на основе броуновского и шоке-броуновского движения в условиях высокой степени неопределенности. Представлена двухпериодная модель инвестиций в сфере кибербезопасности. Сделан вывод о целесообразности применения стратегии “ждать и увидеть”. Дано обобщение двухпериодной модели в контексте многопериодности и непрерывности. Показана идея разделения инвестиционных задач в сфере кибербезопасности, основанная на принципе оптимальности Беллмана. Предложена двухпериодная модель инвестирования в сферу кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности. Вкратце рассмотрим каждую из разработанных моделей.

Моделирование киберугроз на основе броуновского движения. Для моделирования киберугроз в условиях высокой степени неопределенности посредством стохастических дифференциальных уравнений определим

$$dw_t := \sqrt{dt} \varepsilon_t \sim N(0, dt) \text{ for } \varepsilon_t \sim N(0, 1). \quad (4)$$

В данном случае стандартный виннеровский процесс w_t может применяться как структурный блок для моделирования большого числа стохастических переменных. При включении отклонения μ и волатильности σ в данный процесс расширение последнего трансформирует его в общий виннеровский процесс, что является расширенным броуновским движением или процессом Ито $(\xi_t)_{t \in \mathbb{R}^+}$:

$$d\xi_t = \mu(\xi_t, t) dt + \sigma(\xi_t, t) dw_t \sim N(\mu dt, \sigma^2 dt). \quad (5)$$

С учетом вышеуказанного особый случай уравнения (5) является геометрическим броуновским движением, где μ и σ - константы, а $\mu(\xi_t, t) = \mu \xi_t$, $\sigma(\xi_t, t) = \sigma \xi_t$. Следовательно, с учетом отклонения μ и волатильности σ уравнение (5) приобретает следующий вид:

$$d\xi_t = \mu \xi_t dt + \sigma \xi_t dw_t \sim N(\mu dt, \sigma^2 dt), \quad (6)$$

где w_t - стандартный виннеровский процесс. Процесс удобен для моделирования рисков, а в случае, когда ξ стартует с положительного значения, он всегда остается положительным.

Моделирование киберугроз на основе шоке-броуновского движения. Для моделирования киберугроз на основе шоке-броуновского движения важно рассматривать последние как интервалы произвольных Шоке шагов в непрерывном времени, которые динамически стабильны. При этом динамически стабильные произвольные шаги Шоке полностью определяются единственной возможностью \mathcal{V} . Более того, они определяются посредством биномиального дерева в дискретном времени с учетом неопределенности.

Для того, чтобы характеризовать произвольные шаги Шоке, примем, что в момент времени $0 \leq t < T$ для любого узла s_t условная возможность \mathcal{C} постоянна, если s_{t+1}^u и

s_{t+1}^d в момент времени $(t+1)$ являются двумя возможными последователями s_t (соответственно движения “вверх” и “вниз” в случае биномиального дерева). В данном случае случайный шаг симметричен. Это означает, что движения “вверх” и “вниз” выполняются с одинаковой величиной:

$$v(s_{t+1}^u/s_t) = v(s_{t+1}^d/s_t) = c \quad (0 < c < 1). \quad (7)$$

Для данного определения параметр c имеет ключевое значение. Он резюмирует позицию лица, принимающего решение по отношению к неопределенности, так как динамика описывается движением в дискретном времени, в котором вероятность $1/2$ заменяется константой c , представляющей вес неопределенности в движениях “вверх” и “вниз” лица, принимающего решение. Когда $c = 1/2$, то мы имеем дело с вероятностью, как с особым случаем. В данном случае рост большой неопределенности означает, что значение параметра c отклоняется от значения $1/2$, что соответствует случаю вероятности в условиях отсутствия неопределенности.

Приведение такого симметричного случайного шага в непрерывном времени со средней величиной $(m = 2c - 1)$ и разницей $(s^2 = 4c(1 - c))$ является сходимостью виннеровского процесса. Эта сходимость в отношении броуновского движения в непрерывном времени дает возможность применить шоке-броуновское движение в модели реальных опционов, что, в свою очередь, позволяет решить оптимальные инвестиционные задачи в условиях высокой степени неопределенности в киберсреде и с учетом стохастического характера киберугроз, не только принимая во внимание стоимость инвестиционной программы в сферу кибербезопасности и стохастический характер киберугроз, но и рассматривая позицию лица, принимающего решение по отношению к неопределенности с единым параметром c . Следовательно, для этого подхода необходимо переписать киберугрозы следующим образом:

$$d\xi_t = \mu \xi_t dt + \sigma \xi_t d\tilde{w}_t^c. \quad (8)$$

где $d\tilde{w}_t^c = m dt + s dw_t$, а \tilde{w}_t^c - общий виннеровский процесс со средней величиной $(m = 2c - 1)$ и разницей $(s^2 = 4c(1 - c))$. Соответственно, получим следующее стохастическое дифференциальное уравнение:

$$d\xi_t = (\mu + m\sigma)\xi_t dt + s\sigma\xi_t dw_t. \quad (9)$$

В данном случае параметры m и s указывают на позицию лица, принимающего решения по отношению к неопределенности.

Двухпериодная и многопериодная модели инвестиций. Для применения двухпериодной модели в сфере кибербезопасности сначала примем, что в случае вкладываемой суммы z доходы от текущего первого периода составляют B_D , а после второго периода - будут $(1 + u)B_D$ с вероятностью $(1 - q)$. Соответственно, ожидаемые процентные доходы V_D составят

$$\begin{aligned} V_D &= B_D + [q(1 + u)B_D + (1 - q)(1 - d)B_D] \left[\frac{1}{1 + r} + \frac{1}{(1 + r)^2} + \dots \right] = \\ &= B_D + [1 + q(u + d) - d]B_D \frac{1/(1 + r)}{1 - 1/(1 + r)} = \\ &= B_D [1 + r + q(u + d) - d]/r, \end{aligned} \quad (10)$$

где r - годовая процентная ставка.

В случае, когда вкладываемая сумма z меньше, чем ожидаемый процентный доход V_D , т.е. $z < V_D$, то вложение будет сделано, и организация будет иметь чистый доход

$(V_0 - z)$. В случае, когда $z > V_0$, то вложение не будет сделано, и организация будет иметь чистый доход 0, а когда $z = V_0$, то можно сказать, что организация безразлична к инвестированию.

Если организация не делает вложения в первом периоде, ожидая появления более благоприятных условий, то ожидаемые доходы от второго периода составят

$$B_1 = \begin{cases} (1 + u)B_0 & \text{с вероятностью } q, \\ (1 - d)B_0 & \text{с вероятностью } 1 - q. \end{cases} \quad (11)$$

Следовательно, дисконтируя текущую стоимость потока доходов (денежных потоков), для второго периода получим

$$V_1 = B_1 + B_1/(1 + r) + B_1/(1 + r)^2 + \dots = B_1(1 + r)/r. \quad (12)$$

Для каждой из возможностей, когда доходы увеличиваются или уменьшаются между первым и вторым периодами, организация сделает вложения, учитывая условие $V_1 > z$, в результате чего получим следующий результат, который назовем периодическим значением (continuation value).

$$F_1 = \max_{(z \in \mathbb{R})} [V_1 - z, 0]. \quad (13)$$

Для обобщения двухпериодной модели инвестиций в контексте многопериодной текущее состояние кибербезопасности организации опишем переменной x . Для каждого этапа t у организации есть возможности выбора, которые представлены регулирующей переменной u . В момент времени t значение u_t необходимо определить лишь с учетом наличия информации в данное время, т.е. с помощью значения x_t . Переменные состояния и регулирования, которые в данный момент времени t влияют на поток доходов, обозначим $\pi_t(x_t, u_t)$. Отметим также, что на этапе t переменные x_t и u_t влияют также на вероятностное распределение будущих состояний. Соответственно, функцию кумулятивного вероятностного распределения обозначим $\Phi_t(x_{t+1}/x_t, u_t)$. В этих условиях дисконтирование между каждыми двумя периодами можно применить путем использования $\frac{1}{1+\rho}$, где ρ – коэффициент дисконтирования.

Для решения задачи применяется метод динамического стохастического программирования, целью которого является: разделить последовательность принятия решений на две части - незамедлительный (начальный) этап принятия решений и другие последующие за ним этапы. Это обосновано принципом оптимальности Беллмана, из которого следует, что оптимальный подход имеет такую особенность, что какими бы ни были начальное состояние и начальное решение, последующие решения должны составлять оптимальный курс действий по отношению к состоянию, полученному в результате первого решения.

Модель двухпериодных инвестиций в условиях неопределенности. В случае, когда при принятии инвестиционных решений организация не уверена однозначно, что доходы будут расти с некоторой (конкретной) фиксированной вероятностью, то вместо фиксированной вероятности роста доходов организация может рассматривать множество вероятностей (вероятностное пространство). Причем организация не может быть уверена в относительной точности вероятностей роста. Это разнообразие распределения вероятностей называется большой или найтовской неопределенностью.

В этих условиях обозначим через \mathcal{P} то полное множество вероятностей роста доходов, которое организация считает возможным. Известна также та точка зрения, что при наличии множественных вероятностей поведение организации можно

классифицировать как избегающую неопределенность. Следовательно, принимая решение об инвестировании, предприятие часто использует наихудший вариант вероятности (пессимистический сценарий). Соответственно, для первого периода имеем

$$\begin{aligned} (B_D - z) + \frac{1}{1 + \gamma} \left(\min_{q_u \in \mathcal{P}} (q_u B_u + (1 - q_u) B_d) \right) = \\ = (B_D - z) + \frac{1}{1 + \gamma} \left[B_d + \left(\min_{q_u \in \mathcal{P}} q_u \right) (B_u - B_d) \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Так как $B_d < B_u$, то для второго периода имеем

$$\frac{1}{1 + \gamma} \left(\min_{q_u \in \mathcal{P}} q_u \right) (B_u - z) = \frac{1}{1 + \gamma} \left[\left(\min_{q_u \in \mathcal{P}} q_u \right) (B_u - z) \right]. \quad (15)$$

Поскольку $B_u > z$, то критерий задержки инвестирования первого этапа будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} B_D - z) + \frac{1}{1 + \gamma} \left[B_d + \left(\min_{q_u \in \mathcal{P}} q_u \right) (B_u - B_d) \right] - \\ \frac{1}{1 + \gamma} \left[\left(\min_{q_u \in \mathcal{P}} q_u \right) (B_u - z) \right] = \\ (B_D - z) + \frac{B_d}{1 + \gamma} + \frac{1}{1 + \gamma} \left(\min_{q_u \in \mathcal{P}} q_u \right) (z - B_d) < 0. \end{aligned} \quad (16)$$

В третьей главе рассмотрены особенности оптимальных инвестиционных стратегий в сфере кибербезопасности. Изучено влияние рисков и высокой степени неопределенности на инвестиционный проект. Предложена базовая модель инвестирования в сфере кибербезопасности на основе шоке-броуновского движения в условиях высокой степени неопределенности. Представлено наличие высокой степени неопределенности (модельная неопределенность) в модели инвестирования в сфере кибербезопасности. Представлена модель оптимального инвестирования в сфере кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности. Разработана инвестиционная модель путем введения отдельных параметров, отражающих личное отношение лица, принимающего решение по отношению к инвестированию. Представлены также модели принятия робастного инвестиционного решения в сфере кибербезопасности с применением относительной энтропии и робастного стохастического динамического программирования.

Модельная неопределенность. Когда лицо, принимающее решение, не совсем уверено в параметре ξ_t , характеризующем киберугрозу, то вместо конкретной вероятности лицо, принимающее решение, рассматривает множество вероятностей $\tilde{\mathcal{P}}$. Это множество можно определить также посредством так называемого генератора плотности $\theta = (\theta_t)$ (density generator), который является одним из классов стохастических процессов и может быть использован для генерации вероятности Q^θ , определив плотности распределения вероятностей. То есть, высокая степень неопределенности моделируется посредством множества распределения вероятностей $\tilde{\mathcal{P}} = \{Q^\theta / \theta \in \Theta\}$ и характеризуется интервалом генератора плотности $K = [-k, k]$.

Предположим, что угроза ξ_t проявляется подобием броуновского движения, так что:

$$d\xi_t = \mu \xi_t dt + \sigma \xi_t dW_t, \quad (17)$$

где параметр отклонения μ и переменчивость процесса σ - реальные цифры (скалярные величины).

Поскольку $dw_t^\theta = dw_t + \theta_t dt$, то в формуле (17) w_t является броуновским движением по отношению к вероятности P . Следовательно, согласно теореме Гирсанова, для каждого $(\theta \in \Theta)$ действует

$$d\xi_t = (\mu - \sigma\theta_t)\xi_t dt + \sigma\xi_t dw_t^\theta. \quad (18)$$

Следует отметить, что существует только один стохастический процесс ξ_t , который имеет множество проявлений стохастических дифференциальных уравнений, каждому из которых соответствует $\theta \in \Theta$. Отсюда видно, что все наблюдаемые стохастические уравнения множества \tilde{P} отличаются друг от друга лишь коэффициентом отклонения, который может варьироваться в соответствии с интервалом K :

$$\xi_t = \xi_0 \exp \left(\left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t - \sigma \int_0^t \theta_s ds + \sigma w_t^\theta \right), (\forall t \geq 0). \quad (19)$$

Из уравнения (19) видно, что единственный стохастический процесс ξ имеет различные проявления, каждое из которых соответствует определенной вероятности, эквивалентной P .

В этом контексте с точки зрения лица, принимающего решение, с одной стороны, рассматривается стратегия избегающей неопределенности по примеру наихудшего вероятностного распределения, с другой стороны - стратегия симпатизирующей неопределенности по примеру наилучшего вероятностного распределения. Такое сочетание двух крайних предпочтений, характеризующих в неопределенной ситуации отношение лица, принимающего решение относительно большой неопределенности, опишем параметром $\alpha \in [0, 1]$. С учетом параметра α , характеризующего предпочтение лица, принимающего решение, рассмотрим так называемое ожидаемое значение α , которое можно представить следующим выражением:

$$E^\alpha[f(x)] = \alpha \sup_{P \in \tilde{P}} E^P[f(x)] + (1 - \alpha) \inf_{P \in \tilde{P}} E^P[f(x)], \quad (20)$$

где \tilde{P} - множество возможных вероятностей, а $(f: x \rightarrow R)$ - стохастическая функция, характеризующая доход. Смысл ожидаемого значения α заключается в том, что лицо, принимающее решение, рассматривает наилучший возможный (оптимистический) сценарий, взвешенный по α , а худший (пессимистический) возможный сценарий - с весом $(1 - \alpha)$.

Моделирование оптимальных инвестиций в условиях высокой степени неопределенности. α -ожидаемое значение потока неопределенных доходов от инвестирования в сфере кибербезопасности можно представить следующим образом:

$$W(\xi_t/\alpha) = (v - S(z, v)) \lambda \xi_t \left(\frac{\alpha}{\rho - (\mu + \kappa\sigma)} + \frac{1 - \alpha}{\rho - (\mu - \kappa\sigma)} \right). \quad (21)$$

$$\Psi = \frac{\alpha}{\rho - (\mu + \kappa\sigma)} + \frac{1 - \alpha}{\rho - (\mu - \kappa\sigma)}, \quad (22)$$

где ρ - непрерывно накапливаемая сумма по процентной ставке. Очевидно, что в отсутствие большой неопределенности, т.е. $\kappa = 0$, уравнение (21) будет иметь следующий вид:

$$W_t = \frac{(v - S(z, v)) \lambda \xi_t}{\rho - \mu}. \quad (23)$$

При оптимальных инвестициях в сфере кибербезопасности необходимо учитывать критический уровень угрозы повреждения информационной системы организации:

$$\xi^* = \frac{z}{(v - S(z, v))\lambda\Psi} = \frac{z}{(v - S(z, v))\lambda\left(\frac{\alpha}{\rho - (\mu + \kappa\sigma)} + \frac{1 - \alpha}{\rho - (\mu - \kappa\sigma)}\right)}. \quad (24)$$

Поэтому лицо, принимающее решение, внесет вклад в кибербезопасность тогда и только тогда, когда ξ_t превысит критический уровень угрозы ξ^* , в противном случае - инвестиции не будут реализованы.

Расширим рассмотренную выше инвестиционную модель, ограничив условие необходимости немедленных инвестиций. В этом случае определение оптимального момента для инвестиций и получение максимального увеличения доходов от инвестиционного проекта в интервале $\tilde{t} \in [t, \infty)$ становятся существенно важными факторами. Применяя идею α -ожидаемого значения, получим следующую максимизационную задачу:

$$F(\xi_t/\alpha) = \max_{\tilde{t} \in [t, \infty)} E_t^\alpha \left[\int_{\tilde{t}}^{\infty} e^{-\rho(s-\tilde{t})} (v - S(z, v))\lambda\xi_s ds - e^{-\rho(\tilde{t}-t)} z \right]. \quad (25)$$

Таким образом, в случае принятия абсолютно оптимистических ($\alpha = 1$) или абсолютно пессимистических ($\alpha = 0$) решений критический уровень текущей прибыли $(v - S(z, v))\lambda\xi_t$ будет выглядеть следующим образом:

$$(v - S(z, v))\lambda\xi^* = \frac{b}{(b-1)\Psi} z, \quad (26)$$

где

$$b = \frac{1}{2} - \frac{\eta}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{\eta}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} > 1. \quad (27)$$

$$\eta = \alpha(\mu + \sigma\kappa) + (1 - \alpha)(\mu - \sigma\kappa). \quad (28)$$

Поэтому инвестиционный опцион реализуется, т.е. инвестиции осуществляются тогда, когда $(v - S(z, v))\lambda\xi_t$ превышает $(v - S(z, v))\lambda\xi^*$.

Поскольку при инвестировании отношение лица, принимающего решение, в основном оценивается пессимистическим, поэтому для положительных инвестиционных решений необходимо, чтобы указанные условия достигли более высоких уровней. Таким образом, стоимость опциона для внесения вклада получается из следующей формулы:

$$\begin{aligned} F\left(\frac{\xi_t}{\alpha}\right) &= \frac{(b-1)^{(b-1)}}{z^{(b-1)}b^b} [(v - S(z, v))\lambda\xi_t\Psi]^b = \\ &= \frac{(b-1)^{(b-1)}}{z^{(b-1)}b^b} [W(\xi_t)]^b, \quad \alpha \in \{0; 1\}. \end{aligned} \quad (29)$$

а оптимальная сумма для внесения вклада z^* получается из (29), максимизируя критический уровень ξ^* :

$$z(\xi^*) = \operatorname{argmax}_{z \in \mathbb{R}} F(\xi^*; z/\alpha). \quad (30)$$

Робастное моделирование на основе относительной энтропии. С учетом модельной неопределенности обозначим через Θ все θ искажающие процессы. В то же время в случае вероятности $(\tilde{P} \sim P)$ и процесса $(\theta \in \Theta)$ ожидаемые коэффициенты роста для \tilde{P} будут

$$\mu_w - \sigma_w \theta_{1t}, \quad (31)$$

$$\mu_z - \sigma_z \left(\beta \theta_{1t} + \sqrt{1 - \beta^2} \theta_{2t} \right). \quad (32)$$

Следовательно, с расчетом коэффициентов (31) и (32) получим стоимость проекта и инвестиционные затраты:

$$dW_t = (\mu_w - \sigma_w \theta_{1t}) W_t dt + \sigma_w W_t d\tilde{w}_t^1. \quad (33)$$

$$dz_t = \left(\mu_z - \sigma_z \left(\beta \theta_{1t} + \sqrt{1 - \beta^2} \theta_{2t} \right) \right) z_t dt + \sigma_z z_t \left(\beta d\tilde{w}_t^1 + \sqrt{1 - \beta^2} d\tilde{w}_t^2 \right). \quad (34)$$

В случае стратегии, избегающей большой неопределенности, выбор варианта, отклонившегося от наиболее приемлемой вероятности, приведет к снижению рентабельности опциона. Соответственно, при выборе варианта, отклонившегося от наиболее приемлемой вероятности, для лица, принимающего решение, условно определим штраф (penalty). В этом контексте альтернативное значение опциона, вкладываемого в кибербезопасность, обозначим $\tilde{F}(W, z)$. В него включены как ожидаемый доход, так и предусмотренный штраф за выбор другой возможности:

$$\tilde{F}(W, z) = \sup_{\tau \in \mathcal{T}} \inf_{\beta \in \Theta} \left[E^{\beta} \left[e^{-\beta(\tau-t)} (W_{\tau} - z_{\tau}) \right] + \Psi^{-1} \int_b^{\tau} \int_{\Omega} \log \left(\frac{d\tilde{P}_s}{dP_s} \right) d\tilde{P}_s ds \right] \quad (35)$$

Вторая часть этого уравнения - вышеупомянутый штраф, который, по сути, является относительной энтропией двух вероятностей:

$$\left(\int_b^{\tau} \int_{\Omega} \log \left(\frac{d\tilde{P}_s}{dP_s} \right) d\tilde{P}_s ds - \int_b^s \theta_r dW_r - \frac{1}{2} \int_b^s \theta_r^T \theta_r dr \right) d\tilde{P}_s ds. \quad (36)$$

Отметим также, что выбор отклоненной вероятности P эквивалентен выбору процесса θ . Этот способ моделирования подтверждает, что если две рассматриваемые модели достаточно отличаются друг от друга, то относительная энтропия бесконечна, и лицо, принимающее решение, никогда не выберет данную вероятность.

Моделирование инвестиций посредством робастного стохастического динамического программирования. Характеризуя увеличение стоимости инвестиционного проекта и инвестиционных затрат посредством отклоненных вероятностей, представленных в уравнениях (34) и (35), а также введя весовую производную относительной энтропии в уравнение (36), получим

$$\mathcal{R}'(\tilde{P}) = \frac{\partial \mathcal{R}(\tilde{P})}{\partial \tau} = E^{\beta} \left[\frac{1}{2} \theta^T \theta \right]. \quad (37)$$

В результате расчетов получим робастное уравнение Беллмана:

$$\inf_{\theta \in \Theta} \left[(\mu_w - \sigma_w \theta_1) W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \left(\mu_z - \sigma_z (\beta \theta_1 + \sqrt{1 - \beta^2} \theta_2) \right) z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} + \right. \\ \left. \frac{1}{2} \sigma_w^2 W^2 \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial W^2} + \frac{1}{2} \sigma_z^2 z^2 \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial z^2} + \sigma_w \sigma_z W z \beta \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial W \partial z} - \delta \tilde{F}(W, z) + \frac{1}{2} \text{Tr}(\Psi^{-1} \theta^T \theta) \right] = 0, \quad 3$$

где Tr - след матрицы:

$$\text{Tr}(\Psi^{-1} \theta^T \theta) = \frac{1}{\varphi_1} \theta_1^2 + \frac{1}{\varphi_2} \theta_2^2. \quad (39)$$

Используя дифференциальное уравнение первого порядка, для искажающего процесса θ получим

$$\theta_1^* = \varphi_1 \left(\sigma_w W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \beta \sigma_z z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right), \quad (40)$$

$$\theta_2^* = \varphi_2 z \sqrt{1 - \beta^2} \sigma_z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z}. \quad (41)$$

Введя последние уравнения в робастное уравнение Беллмана (41), получим следующее дифференциальное уравнение в частных производных:

$$\left(\mu_w - \sigma_w \varphi_1 \left(\sigma_w W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \beta \sigma_z z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right) \right) W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \\ \left(\mu_z - \sigma_z \left(\beta \varphi_1 \left(\sigma_w W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \beta \sigma_z z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right) + (1 - \beta^2) \varphi_2 \sigma_z z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right) \right) z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} + \\ + \frac{1}{2} \sigma_w^2 W^2 \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial W^2} + \frac{1}{2} \sigma_z^2 z^2 \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial z^2} + \beta \sigma_w \sigma_z W z \frac{\partial^2 \tilde{F}(W, z)}{\partial W \partial z} - \delta \tilde{F}(W, z) + \\ + \frac{1}{2} \varphi_1 \left(\sigma_w W \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial W} + \beta \sigma_z z \frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{2} \varphi_2 \sigma_z^2 (1 - \beta^2) z^2 \left(\frac{\partial \tilde{F}(W, z)}{\partial z} \right)^2 = 0. \quad (42)$$

В четвертой главе разработан пакет прикладных программ с целью оценки эффективности инвестиций в сферу кибербезопасности для моделей, рассматриваемых в рамках диссертационной работы, а также представлены некоторые практические примеры. Структура пакета представлена на рис.1. В пакет включены различные разделы, предназначенные для оценки инвестиций в сферу кибербезопасности и принятия соответствующих инвестиционных решений.

ППП			
Модели		Настройки	Помощь
Статические модели	Робастные модели		
Динамические модели	Модели киберугроз		

Рис. 1. Структура PPP

Раздел моделей включает программы, разработанные на основе статических моделей оценки инвестиций, а также программы, разработанные путем моделирования

принятия динамических инвестиционных решений в сфере кибербезопасности, в частности, с применением двухпериодной и многопериодной моделей, предназначенные для решения инвестиционных задач. Отдельным подразделом представлены программа с применением двухпериодной модели, предназначенная для принятия инвестиционных решений в области кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности, а также программы для моделирования киберугроз с применением различных типов случайных процессов.

В раздел моделей включены, кроме того, разработанные программы принятия робастных инвестиционных решений, основанные на моделях относительной энтропии и робастного стохастического динамического программирования при наличии высокой степени неопределенности в сфере кибербезопасности, а также программы для оценки влияния риска и неопределенности на инвестиционный проект. Выбор моделей осуществляется через соответствующие меню и панели управления (рис. 2).

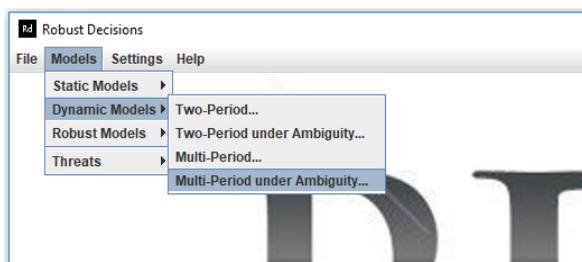


Рис. 2. Выбор моделей

На рис. 3 представлены результаты расчета инвестиций с применением двухпериодной модели в условиях высокой степени неопределенности.

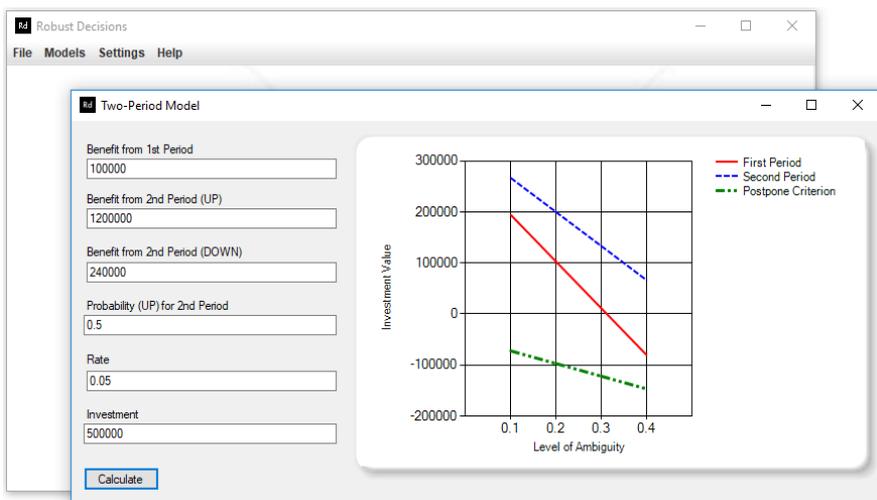


Рис. 3. Результаты расчета двухпериодной модели в условиях высокой степени неопределенности

Пакет разработан на языке программирования Java и предназначен для использования на персональных компьютерах. Работа пакета организована в диалоговом режиме посредством меню, панелей управления и клавиш. Полученные результаты представлены в цифровом и графическом режимах. Объектная ориентированность пакета позволяет в дальнейшем расширить его разработанными программами для других инвестиционных моделей. ППП работает на армянском и английском языках и позволяет настраивать по предпочтению пользователя. При выборе панели помощи можно получить информацию о работе и возможностях пакета.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Проанализированы современные методы оценки эффективности инвестирования в сферу кибербезопасности. Показана необходимость обобщения статических моделей киберугроз в динамическом контексте. Сделаны выводы о целесообразности применения современного аппарата теории случайных процессов, стохастического динамического программирования и принятия робастных решений, а также о необходимости применения автоматизированного подхода к задачам, решаемым в рамках диссертационной работы [1, 2].
2. Дана модель взаимосвязи “инвестиция-неопределенность” в задаче инвестирования в сферу кибербезопасности. Исследованы немонотонность и сложность в задаче инвестирования, а также влияние неопределенности на инвестиционное поведение в сфере кибербезопасности. На основе броуновского и шоке-броуновского движения разработаны модели киберугроз в условиях высокой степени неопределенности [3, 4, 5].
3. Дана двухпериодная модель инвестирования в сферу кибербезопасности. Сделан вывод о целесообразности применения стратегии “ждать и увидеть”. Дано обобщение двухпериодной модели в контексте многопериодности и непрерывности. Показана идея декомпозиции инвестиционных задач в сфере кибербезопасности, основанная на принципе оптимальности Беллмана. Предложена двухпериодная модель инвестирования в сферу кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности [2, 6].
4. Приведены особенности стратегий оптимального инвестирования в сферу кибербезопасности. Исследовано влияние рисков и высокой степени неопределенности на инвестиционный проект в сфере кибербезопасности. Предложена базовая модель инвестиций в сферу кибербезопасности на основе шоке-броуновского движения в условиях высокой степени неопределенности. Представлена модель оптимального времени инвестирования в сферу кибербезопасности на основе реальных опционов [7, 8, 9, 10].
5. Представлено наличие высокой степени неопределенности в инвестиционной модели (модельная неопределенность). Дана модель оптимального инвестирования в сферу кибербезопасности в условиях высокой степени неопределенности. Разработана инвестиционная модель путем введения отдельных параметров, отражающих личное отношение лица, принимающего решение относительно инвестиций в сфере кибербезопасности. Представлены модели принятия робастного инвестиционного решения с использованием относительной энтропии и робастного стохастического динамического программирования [7, 8, 10, 11, 12].
6. Разработан пакет прикладных программ для оценки эффективности инвестиций и моделей принятия инвестиционных решений в сфере кибербезопасности, рассматриваемых в рамках диссертации. Пакет разработан на языке программирования Java и предназначен для использования на персональных компьютерах. Работа с моделями, представленными в пакете, организована в диалоговом режиме посредством меню, панелей управления и клавиш. Полученные результаты представлены в цифровом и графическом режимах. Объектная ориентированность пакета позволяет в дальнейшем расширить его разработанными программами для других инвестиционных моделей [2, 5, 6, 7, 8, 13].

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Կ.Կ., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Կիբեռանվտանգության ապահովման համար ներդրումների կատարման ժամանակի օպտիմալ կառավարումն իրական տարբերակների միջոցով // Ճարտարապետության և շինարարության 3-րդ աստիճանի ազգային համալսարանի Տեղեկագիր. - 2016. - 3 տ. 53, N. 4. - Էջ 78-81:
2. GRIGORYAN A.H. Dynamic Modeling of Cybersecurity Investment // Proceedings of Engineering Academy of Armenia. - 2015. - Vol. 12, N. 3. - P. 455-459.
3. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Ներդրում-անորոշություն և հարաբերությունը կիբեռանվտանգության ոլորտում // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. - 2016. - 3 տ. 69, N. 4. - Էջ 431-438:
4. GRIGORYAN A.H. Dynamic Modeling of Cybersecurity Threats under Ambiguity // Proceedings of NPUA: Information Technologies, Electronics, Radio Engineering. - 2016. - N. 2. - P. 36-42.
5. GRIGORYAN A.H. Dynamic Modeling of Cybersecurity Investments under Ambiguity // Proceedings of NPUA: Information Technologies, Electronics, Radio Engineering. - 2017. - N. 1. - P. 30-36.
6. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների մոդելավորումը մեծ անորոշության պայմաններում // 3-րդ կական Բանալ. - 2016. - 3 տ. 88, N. 2. - Էջ 97-102:
7. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Կիբեռանվտանգության ապահովման ներդրումային մոդելի էական անորոշության պայմաններում // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. - 2017. - 3 տ. 70, N. 1. - Էջ 115-122:
8. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Կիբեռանվտանգության ոլորտում օպտիմալ ներդրումային որոշումների կայացումը մեծ անորոշության պայմաններում // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա. - 2017. - 3 տ. 70, N. 3. - Էջ 384-390:
9. GRIGORYAN A.H. Modeling the Impact of Risk on Cybersecurity // Proceedings of NPUA: Information Technologies, Electronics, Radio Engineering. - 2017. - N. 2. - P. 70-75.
10. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Կիբեռանվտանգության ոլորտում ներդրումների մոդելավորումը ռեալ օպերացիաների կիրառման միջոցով // 3-րդ աստիճանի ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր. - 2017. - 3 տ. 14, N. 3. - Էջ 484-487:
11. ГРИГОРЯН А.Г. Энтропия как мера модельной неопределенности в стохастических экономических системах // Проблемы устойчивого социально-экономического развития Республики Армения. - 2013. - Том. 4, N. 20. - С. 203-206.
12. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Ա.Յ. Շեղումակայուն ներդրումային որոշումների մոդելավորումը կիբեռանվտանգության ոլորտում // 3-րդ կական Բանալ. - 2017. - 3 տ. 93, N. 3. - Էջ 83-90:

13. GRIGORYAN A.H. Structure of Decision Support System for IT Investment Projects Evaluation // European Academy: Collection of Scientific Articles. - 2013. - Vol. 2, N. 2. - P. 193-198.

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Տեղեկատվահաղորդակցային տեխնոլոգիաների բուռն զարգացումը մեծացրել է հասարակական ոլորտների կախումը թվային տեխնոլոգիաներից՝ հանգեցնելով տեղեկու թակենտրոն հասարակության ձևավորմանը: Դառնողեկցվում է ինչպես միջարք միանգամայն նոր հնարավորությունները ստեղծմամբ, այնպես էլ տարաբնույթ կիրառմասպառնալիքների առաջացմամբ: Կազմակերպության, այդ թվում՝ պետության տեղեկատվական համակարգերի դեմ ուղղված կիրառմասպառնալիքները տարբերվում են ոչ միայն իրենց ձևով, այլև վնասակարության աստիճանով: ՌԻստի կիրառման վտանգության ոլորտում առկա մեծ անորոշության և կոնկրետ խնդիրների լուծման համար մեսուրոսների անբավարարության, ինչպես նաև կիրառմասպառնալիքների բարդ և պատահական (ստոխաստիկ) բնույթի ու կազմակերպության տեղեկատվական համակարգերի վրա դրանց հնարավոր բացասական ազդեցության հաշվառմամբ՝ հանկապե կարևոր է դառնում տվյալ ոլորտում ճիշտ ներդրումների կատարումը:

Ի տարբերություն այլ ոլորտների՝ կիրառման վտանգության ոլորտում ներդրումներից ստացվող եկամուտները դրամական չեն և արտահայտվում են պաշտպանության կարիք ունեցող տեղեկատվական համակարգերի ու տեղեկատվական ակտիվների խոցելիության մակարդակի նվազմամբ: Ըստ այդմ անհրաժեշտ է դառնում ներդրումային նախագծերի արդյունավետության գնահատման և ներդրումային որոշումների կայացման համար ավելի ճկուն ու շեղումակայուն (ռոբաստ) մոդելների մշակումն ու ավտոմատացումը:

Առաջին գլխում ներկայացված է կիրառման վտանգության ոլորտում ներդրումների հիմնախնդրի մշակվածությանը վերաբերող աշխատանքների համառոտվերլուծությանը: Տույց է տրված, որ հիմնախնդրի լուծման համար տարբեր հեղինակների կողմից կատարված է մեծ աշխատանք, սակայն առաջարկված մոդելները հիմնականում ստատիկ են և չեն արտահայտում կիրառմասպառնալիքների ստոխաստիկ բնույթն ու կիրառման վտանգության ոլորտում առկա մեծ անորոշությանը: Տույց է տրված կիրառմասպառնալիքների ստատիկ մոդելները դինամիկական համառեքստում րնդիանրացնելու անհրաժեշտությանը: Արվել է եզրակացություն նախատահական (ստոխաստիկ) պրոցեսների տեսության ժամանակակից գործիքարանի, պատահական դինամիկական ծրագրավորման կիրառման նախատակարարության ու շեղումակայուն ոլորտում ներդրումների կայացման, ինչպես նաև հետազոտության շրջանակներում դիտարկված խնդիրների լուծման

ավտոմատացված մոտեցման կիրառման անհրաժեշտության վերաբերյալ:

Երկրորդ գլխում ներկայացված է կիբեռնանվտանգության ոլորտում ներդրումային խնդրի «ներդրում-անորոշունք ուն» փոխապահանջության մոդելը: Յետագոտված են ներդրումային խնդրի ոչ մոնոտոնությունն ու բարդությունը, ինչպես նաև անորոշունքային ազդեցությունը կիբեռնանվտանգության ոլորտում ներդրում կատարելու վարքագծի վրա: Բրոուսյան և շոկեբրոուսյան շաժումների հիման վրա մշակվել են կիբեռնապառնալիքների մոդելները բարձր մակարդակի անորոշունքային պայմաններում: Տրվել է կիբեռնանվտանգության ոլորտում ներդրումների երկփուլ մոդելը: Արվել է եզրակացություն «սպասենք-տեսնենք» ռազմավարության կիրառման նպատակահարմարության վերաբերյալ: Տրվել է երկփուլ մոդելի ընդհանրացումը բազմափուլունքային և անընդհատունքային համատեքստում: Տույց է տրվել կիբեռնանվտանգության ոլորտում ներդրումային խնդրների լուծման տարանջատման գաղափարը, որը հիմնված է Բելմանի օպտիմալության սկզբունքի վրա: Ի տարբերություն ներդրումների ստատիկ միափուլ մոդելների՝ երկփուլ և բազմափուլ մոդելները ներդրումների դինամիկությունը դիտարկելու հնարավորությունն են տալիս: Առաջարկվել է կիբեռնանվտանգության ոլորտում ներդրումների երկփուլ մոդելը բարձր մակարդակի անորոշունքային պայմաններում:

Երրորդ գլխում ներկայացված են կիբեռնանվտանգության ոլորտում օպտիմալ ներդրումային ռազմավարության ներքին ամանձնահատկությունները: Ուսումնասիրված է ներդրումային նախագծի վրա ռիսկերի և բարձր մակարդակի անորոշունքային ազդեցությունը: Առաջարկված է բարձր մակարդակի անորոշունքային պայմաններում կիբեռնանվտանգության ոլորտում ներդրումների բազային մոդելը շոկեբրոուսյան պրոցեսի հիման վրա: Ներկայացված է ներդրումային մոդելում առկա բարձր մակարդակի անորոշունքը (մոդելային անորոշունք): Մշակված է ներդրումային մոդել՝ ներդրումների վերաբերյալ որոշում կայացնողների անձնակազմի վերաբերմունքն արտահայտող անհատական պարամետրերի ներմուծմամբ: Տույց է տրվել, որ եթե որոշում կայացնողը ամբողջովին վստահ չէ համակարգի խաթարմանն ուղղված սպառնալիքը բնութագրող պարամետրի հարցում, այսինքն՝ հավանականության մեջ առկա է բարձր մակարդակի անորոշունք, ապա որևէ կոնկրետ հավանականության փոխարեն որոշում կայացնողը կարող է դիտարկել հավանականության ներքին բազմունք: Ներմուծված α սպասվող արժեքի միջոցով որոշում կայացնողը α կշռով դիտարկում է լավագույն հնարավոր սցենարը, իսկ $(1 - \alpha)$ կշռով՝ վատագույնը:

Ներկայացված է նաև օպտիմալ ներդրումների մոդելավորումը բարձր մակարդակի անորոշունքային

պայմաններում: Տույց է տրված, որ կիբեռանվտանգության ոլորտում կարելի է կատարել օպտիմալ ներդրումներ՝ կիրառելով հետաձգման օպցիոնը և առավելարկելով ներդրում կատարելու օպտիմալ գումարը կրիտիկական մակարդակում: Ներկայացված են նաև կիբեռանվտանգության ոլորտում շեղումակայուն ներդրումային որոշումների կայացման մոդելները հարաբերական էնտրոպիայի և պատահական շեղումակայուն դիսամիկական ծրագրավորման օգտագործմամբ: Տույց է տրված, որ տվյալ մոդելների կիրառումը կարող է էականորեն բարձրացնել կիբեռանվտանգության ոլորտում առկա մեծ անորոշության պայմաններում կատարվող ներդրումների արդյունավետության մակարդակը:

Չորրորդ գլխում ներկայացված են ատենախոսության շրջանակներում մշակված մոդելների ավտոմատացման համար ստեղծված կիրառական ծրագրերի փաթեթի (ԿՃՓ) կառուցվածքը, բնութագրերն ու հնարավորությունները, ԿՃՓ-ի հիմնական դասերն ու աշխատանքային միջավայրը, ինչպես նաև ատենախոսության մեջ դիտարկվող մոդելների վերաբերյալ թվային օրինակներ: Փաթեթը մշակված է Java ծրագրավորման լեզվով, նախատեսված է անհատական օգտագործման համակարգիչների համար: Ստացվող արդյունքները ներկայացվում են թվային և գրաֆիկական ռեժիմներում: Փաթեթի օբեկտային կոդմնորոշվածությունը հնարավորություն է տալիս հետագայում ընդլայնել այն ներդրումային այլ մոդելների համար մշակվող ծրագրերով:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքներն արտացոլված են հրատարակված 13 գիտական աշխատության ներքո:

ARMAN HRANT GRIGORYAN

**AUTOMATION OF STRATEGIC INVESTMENT DECISION-MAKING
IN CYBERSECURITY**

Dissertation under 05.13.02 – “Automation Systems”
to be awarded PhD in Technical Sciences (Engineering)

The public defense of the dissertation will take place on 12th January, 2018 at 14:00,
in the National Polytechnic University of Armenia at the 032 “Control and
Automation” SCC Chamber session
(Address: 105 Teryan str., Yerevan 0009, RA, Building 17)

SUMMARY

Rapid development of information and communication technologies has increased the dependence of public spheres on digital technologies, leading to the formation of information-centric society, which is accompanied by generation of new possibilities, as well as various types of cyber threats. Cyber threats against the organization, as well as state information systems, differ not only by their own way, but also by degree of harmfulness. Therefore, taking into account the high level of uncertainty (ambiguity) in cybersecurity sphere, the lack of resources for addressing to certain tasks, as well as the complex and stochastic nature of cyber threats and the possible negative impact of the latter on the information systems of the organization, it is of utmost importance to make proper investments in this sphere.

Unlike other spheres, in the field of cybersecurity, benefits from investments are not monetary and are expressed by reducing the vulnerability level of the information systems and information assets that are in need of being protected. Accordingly, it becomes necessary to develop and automate more flexible and robust models for evaluating the efficiency of investment projects and investment decision-making.

The first chapter presents a brief analysis of the investment problem and problem-related issues in cybersecurity sphere. It is shown that a great deal of work has been done for problem solution by different authors but the proposed models are mainly static and do not capture the stochastic nature of cyber threats and the high level of uncertainty in cybersecurity sphere. The necessity of generalizing the static models of cyber threats in the dynamic context is given. Conclusion has been made on expediency of applying the modern instrumentation of stochastic processes theory, stochastic dynamic programming and robust decision making, as well as the need of using automated approach to address the problems considered in the framework of this research.

The second chapter presents the "investment-uncertainty" relationship model of investment problem in cybersecurity sphere. The non-monotonicity and complexity of investment problem, as well as the impact of uncertainty on the behavior of cybersecurity investments have been investigated. Models have been developed for cyber threats based on Brownian and Choquet-Brownian motions under ambiguity. Two-period model is provided for investments in cybersecurity sphere. Conclusion is made on expediency of using "wait and see" strategy. The generalization of the two-period model is given in the multi-period and continuous context. The idea of separation is presented for the solution of investment problems in cybersecurity sphere based on Bellman Optimality Principle. Unlike the one-period static investment models, the two-period and multi-period models give an opportunity to consider the dynamic nature of investments. In addition, the two-period model under ambiguity is proposed for investments in cybersecurity sphere.

The third chapter presents the specifics of optimal investment strategies in cybersecurity sphere. The impact of risks and ambiguity on investment project has been studied and nominal model is proposed based on Choquet-Brownian motion for investments in cybersecurity sphere under ambiguity. The high-level of uncertainty (ambiguity) in the investment model is presented and an investment model has been developed to reflect the personal attitude of decision-makers toward investments by introducing individual parameters. It is shown that, if the decision-maker is not completely sure about the parameter describing the cyber threat, then, the decision-maker considers a set of probabilities instead of choosing a certain one. By the inclusion of α -expected value, the decision-maker determines the best-case scenario with α weight, and the worst-case scenario with $(1 - \alpha)$ weight.

In addition, the modeling of optimal investments under ambiguity is presented. It is shown, that optimal investments can be done in the sphere of cybersecurity by using the option to postpone and maximizing the optimal investment threshold. In this regard, robust models are given for investment decision-making in cybersecurity sphere by the use of relative entropy and robust stochastic dynamic programming. It is shown, that application of these models can substantially increase the efficiency of investments under ambiguity in cybersecurity sphere.

The fourth chapter presents the structure, features, capabilities, main classes and working environment of the software package developed for the realization of models considered in the thesis, as well as various numerical illustrations. The package is developed by Java programming language and is designed for personal computers. Results are presented in digital and graphic modes. The object-oriented capability of the package enables its further expansion for other investment models to be developed.

On the topic of the dissertation 13 papers are published.