

70

70000

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

УТВЕРЖДАЮ
Председатель СПбНЦ РАН
академик


Ж. И. Алфёров



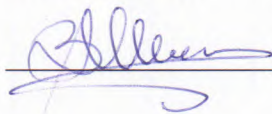
О Т Ч Е Т

по теме 34.2

«Разработка моделей и технологий анализа динамики процессов
рискообразования и управления региональными социо-
техническими рисками в условиях неопределённости»
по Государственному заданию СПбНЦ РАН в 2014–2016 гг.

**промежуточный
Этап 2014 года**

Руководитель
к.т.н., доцент


В. М. Шишкин

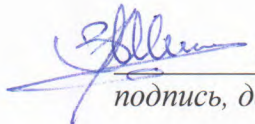
Санкт-Петербург
2014

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель

в.н.с.

к.т.н


 09.12.14
подпись, дата

В.М. Шишкин

Исполнители:

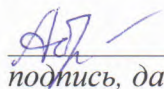
с.н.с.

к.ф.-м.н.

 09.12.2019
подпись, дата

Е.Л. Евневич

м.н.с.

 09.12.14
подпись, дата

И.К. Абросимов

Реферат

Отчет 29 с., 9 рис., 1 табл., 35 источников.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И ТЕХНОЛОГИЙ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ РИСКООБРАЗОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМИ СОЦИО-ТЕХНИЧЕСКИМИ РИСКАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

НИР посвящена разработке моделей и инструментальных средств, способных предоставить возможности для автоматизированной поддержки комплексного анализа и управления социотехническими рисками при междисциплинарном и межпредметном взаимодействии экспертов, получения оценок эффективности принимаемых решений по управлению рисками. Разработанные модели позволяют в условиях неполноты, структурной и метрической неопределенности факторов риска и гетерогенности исходной информации получать результирующие оценки в стохастическом виде, независимо от способов представления исходных данных, что обеспечивает свободу выбора при принятии решений в сложных, не достаточно формализуемых, ситуациях, а также дают средства динамического моделирования процессов рискообразования при различных сценариях развития ситуаций.

В результате выполнения первого этапа исследований разработана концепция и математические модели анализа процессов рискообразования и управления социотехническими рисками в условиях неопределённости, при этом решены следующие задачи:

- сформулирован и обоснован методический аппарат риск-анализа, позволяющий получать на сложных структурах причинно связанных факторов стохастический профиль риска и оценки эффективности контрмер;

- разработана и обоснована методика гомогенизации и рандомизации исходных данных, показана возможность снижения неопределённости при сравнении альтернативных решений;

- проведён анализ применения дифференциальных динамических моделей в различных предметных областях, особенно плохо формализуемых, исследованы их возможности для моделирования процессов рискообразования и их интеграции с оценочными моделями риск-анализа;

- разработаны математические модели взаимодействия социо-технических факторов и безопасности в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений, в том числе в условиях противоборства;

- учитывая особые требования к критически важным объектам, исследована методическая возможность параметризации критичности с использованием нелинейного преобразования меры риска и нелинейные эффекты в оценке затрат на обеспечение безопасности такого рода объектов.

В результате выполненных работ подготовлена концептуальная и методическая основа для алгоритмической и технологической реализаций разработанных моделей анализа динамики процессов рискообразования и управления региональными социотехническими рисками в условиях неопределённости.

Содержание

Введение.....	5
1. Концепция и структурная метамодель риск-анализа	6
1.1. Предварительные замечания	6
1.2. Структурная метамодель, основные положения	7
1.3. Неопределенность и гомогенизация данных при построении риск-моделей	9
2. Динамическое моделирование процессов рискообразования	12
2.1. Динамическая модель риск-анализа	12
2.2. Динамическая модель взаимодействия социо-технических факторов и безопасности	13
2.3. Некоторые результаты моделирования	16
2.4. Динамическая модель информационного противоборства	17
3. Нелинейные эффекты в оценке обеспечения безопасности критически важных объектов	21
Заключение.....	25
Список использованных источников.....	27

Введение

Проблемы и задачи обеспечения безопасности в различных предметных областях в настоящее время взаимосвязаны, имеют комплексный междисциплинарный характер. При этом развитие техносферы в целом и особенно повсеместное применение ИКТ привели к тому, что риски приобрели отчётливый социотехнический характер. Исторически сложившиеся ведомственные подходы, методики, технологии в таких условиях позволяют решать локальные задачи, но не способны в достаточной мере взаимодействовать при согласовании комплексных решений и оценке системных эффектов от их реализации.

Поэтому задача разработки методов и технологий анализа и управления социотехническими рисками, применимых в различных предметных областях, представляется актуальной, а региональный уровень является удобным ограниченным масштабом для отработки подходов к решению глобальных по своей природе задач. Отечественный и зарубежный опыт в решении такого рода задач пока не достаточен

Предлагаемый подход отличается от существующих тем, что он предоставляет возможность комплексного анализа и управления социотехническими рисками, получения оценок эффективности принимаемых решений, обеспечивая условия междисциплинарного и межпредметного взаимодействия экспертов. При этом допускается неполнота, структурная и метрическая неопределенность, гетерогенность исходной информации, неизбежно возникающие при моделировании реальных ситуаций, но результирующие оценки получаются в стохастическом виде, независимо от способа представления исходных данных. Последнее обстоятельство немаловажно, так как оставляет свободу выбора при принятии решений в сложных, не вполне формализуемых, ситуациях. Такая возможность обеспечивается благодаря обоснованию функциональной связи характеристик физических процессов и экспертной информации и разработанной методике её гомогенизации с последующей рандомизацией. Новым также является интеграция дифференциальных динамических моделей процессов рискообразования и оценочных моделей риск-анализа, учёт нелинейного характера взаимодействия факторов риска.

В результате выполнения первого этапа НИР разработана концепция и математические модели анализа процессов рискообразования и управления социотехническими рисками в условиях неопределённости, при этом решены следующие задачи:

- сформулирован и обоснован методический аппарат риск-анализа, позволяющий получать на сложных структурах причинно связанных факторов стохастический профиль риска и оценки эффективности контрмер;

- разработана и обоснована методика гомогенизации и рандомизации исходных данных, показана возможность снижения неопределённости при сравнении альтернативных решений;

- проведён анализ применения дифференциальных динамических моделей в различных предметных областях, особенно плохо формализуемых, исследованы их возможности для моделирования процессов рискообразования и их интеграции с оценочными моделями риск-анализа;

- разработаны математические модели взаимодействия социо-технических факторов и безопасности в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений, в том числе в условиях противоборства;

- учитывая особые требования к критически важным объектам, исследована методическая возможность параметризации критичности с использованием нелинейного преобразования меры риска.

В результате выполненных работ подготовлена концептуальная и методическая основа для алгоритмической и технологической реализаций разработанных моделей

анализа динамики процессов рискообразования и управления региональными социотехническими рисками в условиях неопределённости.

Результаты могут быть использованы на практике для автоматизации процедур анализа ситуаций, управления рисками в сложных многофакторных системах, связанных с комплексной безопасностью людей, в различных предметных областях, таких как медицина, экология, чрезвычайные ситуации и др., а также с подобными целями для управления безопасностью критически важных объектов и инфраструктур, в том числе, в условиях противоборства.

1. Концепция и структурная метамодель риск-анализа

1.1. Предварительные замечания.

Существует множество разнообразных подходов к интерпретации понятия риска и его измерению [1]. Часть подходов утверждена в качестве стандартов и широко применяется на практике, несмотря на уязвимость для критики. Большинство из них ориентировано на работу с однородной информацией, что существенно ограничивает эксперта в процессе задания исходных данных. Поскольку экспертные оценки по своей природе являются случайными, величина которых может задаваться различным образом, возникает проблема разнородности исходной информации, если мы хотим предоставить эксперту больше свободы и, тем самым, извлечь больше знаний.

При этом оценка рисков не является самоцелью, главным образом она необходима для создания адекватной применяемой политике обеспечения безопасности системы защиты или контрмер, успешного применения средств противодействия факторам риска. В противном случае применяемые меры обеспечения безопасности могут быть малоэффективны.

Существенной особенностью анализа рисков в реальных сложных системах является неполнота и гетерогенность исходной информации. Это значит, что относительно некоторых факторов какая-либо достоверная информация может отсутствовать, по другим — иметься относительно точные или хотя бы статистические данные в числовом выражении, в третьем случае информация ограничена экспертным мнением в некоторой нечисловой шкале и т.д. В пределе это могут быть слабо структурированные тексты на естественном языке. Кроме того в дополнение к знаниям об отдельных факторах может иметься информация логического, ординального характера об отношениях на множестве факторов, в том числе, нечёткая.

Таким образом, исходные данные могут представляться в разнообразных несовместимых между собой формах и неприменимы для расчетов без их предварительной арифметизации в единой шкале. Для учета этих особенностей необходимо, во-первых, предусмотреть возможность совместной обработки синтаксически разнородных и неполных данных и, во-вторых, обеспечить расчет характеристик распределений вероятностей оценок факторов риска, т.к. все исходные данные в условиях неопределённости являются, по сути, случайными величинами. Такая стохастическая идентификация профиля рисков позволит принимать более обоснованные решения по противодействию им и обеспечит большее доверие к оценкам.

Одним из шагов, предпринятых для решения поставленной задачи, была разработка системы анализа рисков, позволяющей получать интервальную оценку факторов (математического ожидания и дисперсии), в которой исходные данные задавались системой чётких неравенств [2]. В таком случае мы могли работать в произвольной комбинации с точечной, интервальной информацией и связывающими эти данные ординальными отношениями. Отсутствие информации предполагало в качестве интервала всё множество возможных значений. При этом считалось, что на заданных начальными

условиями интервалах исследуемая величина обладает равномерным распределением согласно принципу максимизации энтропии [3].

Разработанная методика [4], расширяет эти возможности. Она позволяет оперировать с разнородной и неполной экспертной информацией, которая допускает представление в виде случайных величин, заданных различными распределениями, в нечисловых шкалах, в том числе, нечетких, ординальными отношениями. Исходная информация гомогенизируется, то есть приводится к однородному виду, удобному для дальнейших расчетов. Подчеркиваем, что методика, имея самостоятельную ценность, является составной частью технологии анализа рисков в условиях недоопределенности исходных данных. Ограничением на её использование является стохастическая природа моделируемых объектов, процессов и явлений.

Методика разрабатывалась нами на протяжении ряда лет, пройдя путь от достаточно простых моделей интервального оценивания [2] до настоящего состояния, позволяющего работать с большим разнообразием типов исходных данных.

1.2. Структурная метамодель, основные положения.

В качестве структурной основы модели анализа рисков и алгоритмизации методики идентификации профиля рисков используется метамодель [5], допускающая различные содержательные и алгоритмические интерпретации.

Метамодель построена на дихотомической оппозиции: «защищаемый объект» — потенциально враждебная «среда». Элементы модели (факторы риска) определяются в терминах трех категорий: субъектов, объектов и воздействий первых на вторые. Соответственно категориям выделяются три непересекающихся непустых подмножества факторов риска:

1. независимые активные субъекты, «источники угроз» — множество M_s (threat sources);

2. проводники воздействий, события, порождаемые источниками угроз, «угрозы» нарушения безопасности — множество M_e (threat events), в котором выделяется подмножество $M_r \subseteq M_e$ так называемых «событий риска» — угроз, наносящих непосредственный ущерб объекту;

3. «компоненты» объекта — множество M_c (components).

Кроме того вводится условный элемент, представляющий множество состояний объекта в целом — Z .

В совокупности все они образуют множество M_0 , на котором определяется хотя бы один тип отношений: бинарное отношение непосредственной причинности ρ_w со свойством транзитивности, к которому можно свести многие связи, имеющие имплицативный характер. Отношение ρ_w упорядочивает M_0 и задает на нем структуру, фиксирующую каналы распространения потоков угроз от источников до объекта, отображающихся, в конечном счете, на его состоянии, и порождает квадратную матрицу отношения W_0 .

Система защиты, противодействия факторам риска представима в виде множества элементов S , каждый из которых осуществляет воздействие на элементы из M_0 . Между элементами множеств S и M_0 также устанавливается отношение $\rho_s \subset S \times M_0$, формально аналогичное ρ_w , порождающее прямоугольную матрицу R_0 .

На рис. 1 показана простая иллюстрация данного представления метамодели.

Источники угроз из M_s считаются генераторами потока событий (угроз), распространяющегося по каналам, заданным отношением ρ_w на M_0 . Элементы M_e

рассматриваются как функциональные преобразователи, перераспределяющие потоки событий. На выходе элементов M_r формируется поток угроз, непосредственно воздействующий на объект в составе M_c . Тогда средства защиты из S можно интерпретировать как фильтры.

Роль условного элемента z , соответствующего состоянию объекта в целом, как преобразователя, ограничивается функцией сумматора-интегратора. Тогда на выходе z можно фиксировать результирующий поток f_r , интеграл от которого по некоторому интервалу времени, является, по сути, мерой риска для объекта, измеряемого ущербом, наносимым ему за это время.

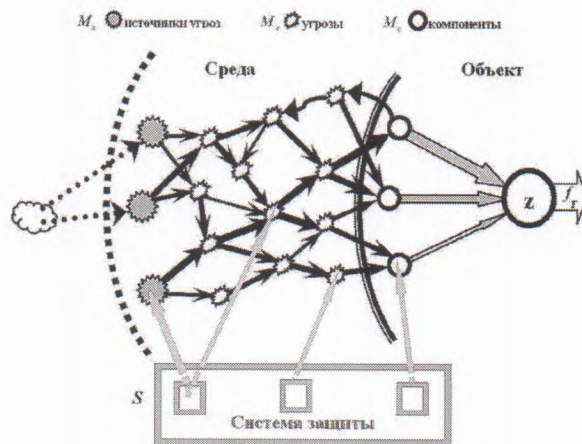


Рис. 1.1. Структурная схема метамодели

Простейшая количественная интерпретация метамодели, предполагающая линейный характер отношений в w_0 , отображает ее в арифметическую матрицу $W = (w_{ij})$, элементы которой можно рассматривать как нормированные весовые коэффициенты в точечном выражении, имеющие смысл меры влияния i -го элемента на j -ый. В физической интерпретации они определяются как отношения интегральных характеристик потоков от всех непосредственно предшествующих j -му i -ых элементов структуры.

Далее рассчитываются показатели v_{ij} , аналогичные по смыслу w_{ij} , но уже с учетом транзитивности отношения ρ_w . В результате определяется арифметическая матрица V , структурно эквивалентная w_0 .

При отсутствии рефлексии элементов, если w_0 считать взвешенной матрицей смежности некоторого графа, показатели легко рассчитываются на графе в соответствующих терминах, как суммы по всем путям из i -ой в j -ую вершину произведений оценок дуг каждого пути, что равносильно матричному преобразованию $V = (I - W)^{-1} \cdot I$, где I - единичная матрица.

Однако в общем случае такой расчет не возможен, и тогда V рассчитывается с использованием аппарата марковских цепей следующим образом. Из w_0 исключается левый блок нулевых столбцов, соответствующих множеству M_s , выделяются верхний горизонтальный блок в виде матрицы W_s и остальная нижняя часть, квадратная матрица W_e . Тогда, обозначив $I - W_e = D_e$, определяются соответствующие блоки V : $V_s = W_s D_e^{-1}$ и $V_e = \det(D_e)(D_e^{-1})$.

Последний, всегда не нулевой, z -ый столбец v_z матрицы v содержит искомые показатели v_{iz}^1 - влияния любого i -го фактора риска на состояние безопасности объекта. Эти показатели должны целенаправленно ориентировать создание систему защиты на противодействие наиболее значимым факторам риска.

Факторы риска можно также связать с физическими объектами, задав множество P , представляющее оборудование, физические среды, персонал и т.д., и отношение $\rho_p \subset P \times M_0$. Тогда нетрудно оценки факторов риска отобразить на элементы множества P , что может быть полезно на практике.

Для получения количественной оценки результативности (эффективности) системы защиты матрица R_0 также арифметизируется, а соответствующая матрица $R = (r_{ij})$ содержит оценки воздействия k -го элемента системы защиты на j -ый фактор риска. Далее она преобразуется в вектор $r = [r_j]$, где $r_j = 1 - \prod_k (1 - r_{kj})$, или дополняющий его $u = [u_j]$, $u_j = 1 - r_j$, $r_j \leq 1$, $u_j \geq 0$, представляющие совместное действие элементов системы защиты. Тогда показатель общей результативности защиты r_z рассчитывается следующим образом. Во-первых, определяется вектор $v_s = u_s W_s (I - \text{diag}(u_e) W_e)^{-1}$, где u_s , u_e - части вектора u , с компонентами, относящимися, соответственно, к элементам множества M_s и остальным элементам из M_e . Далее, используя композицию $v = (e_s; v_s)$, где e_s - вектор, состоящий из единиц, порядка, равного количеству элементов в M_s , определяется r_z :

$$r_z = (v * r) v_z, \quad (1.1)$$

где символ «*» обозначает операцию поэлементного умножения векторов.

В оценке r_z вида (1.1) отображается сложное взаимодействие элементов моделируемой системы факторов риска и средств, им противодействующих, учитывая трудно предсказуемые мультипликативные эффекты удаленных косвенных влияний и циклических связей, являясь одновременно относительной оценкой изменения интегральной характеристики результирующего потока угроз.

1.3. Неопределенность и гомогенизация данных при построении риск-моделей

Рассмотрим этапы процесса анализа рисков, согласно методике (рисунок 1.2). На первом этапе, представляя предметную область, эксперт определяет набор актуальных факторов риска из потенциально бесконечного множества, соответственно поставленным целям безопасности.

Для одной и той же области этот набор может быть задан различным образом, и не всегда эксперт может уверенно сделать выбор. Таким образом, уже на этом этапе построения риск-модели мы сталкиваемся с неопределенностью. Далее, на множестве факторов, задается бинарное отношение причинности со свойством транзитивности, которое не всегда очевидно. При недостаточной информации обо всех парах, задаваемых этим отношением, мы будем иметь дело с множеством случайных структур. На этом этапе возникает структурная неопределенность

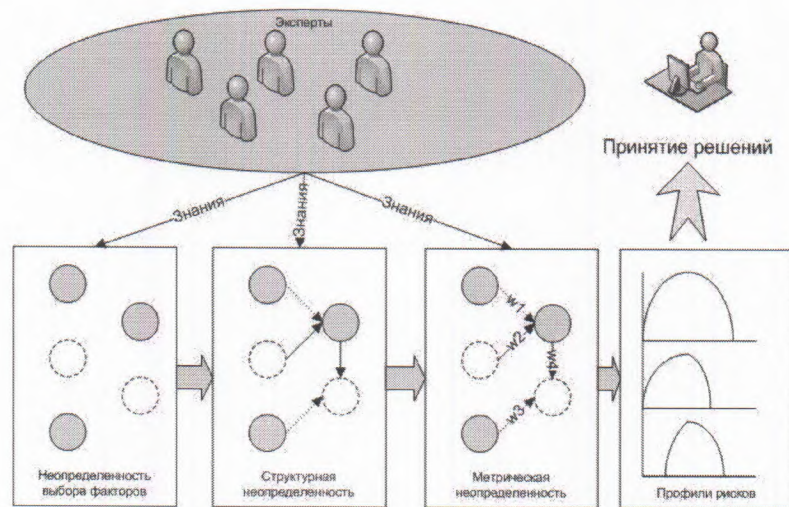


Рис.1.2. Виды и этапность возникновения неопределенности в риск-анализе

Каждая такую структура, фиксируя возможные каналы распространения потоков угроз от источников до объекта, и порождает квадратную матрицу отношений w_0 .

Простейшая количественная интерпретация метамодели [5], предполагающая точечные количественные оценки отношений, отображает w_0 в арифметическую матрицу $w = (w_{ij})$, элементы которой можно рассматривать как весовые коэффициенты, имеющие смысл меры влияния i -го элемента на j -ый. Она содержит все исходные данные для расчетов на модели, полученные тем или иным способом.

Далее рассчитываются показатели v_{ij} , аналогичные по смыслу w_{ij} , но уже с учетом транзитивности отношений. В результате определяется матрица v , структурно эквивалентная w . При отсутствии рефлексии элементов, если w считать взвешенной матрицей смежности некоторого графа, они легко рассчитываются на графе в соответствующих терминах, как суммы по всем путям из i -ой в j -ую вершину произведений оценок дуг каждого пути, что равносильно указанному выше матричному преобразованию $v = (I - w)^{-1} - I$.

Последний, всегда ненулевой, z -ый столбец v_z матрицы v содержит искомые показатели $\{v_{iz}\}$ влияния любого i -го фактора риска на объект (профиль риска). Эти показатели должны целенаправленно ориентировать разработку контрмер на противодействие наиболее значимым факторам риска.

Метрическая неопределенность

На практике эксперту трудно, и его нельзя заставлять, задавать точечные значения. Поэтому, представляя экспертную информацию об оценках w_{ij} , мы сталкиваемся с неопределенностью другого вида, которую назовем метрической. Информация о каждой оценке w_{ij} для арифметизации матрицы w_0 может быть представлена отдельным значением (точка), диапазоном значений (интервал), некоторым распределением вероятностей значений, нечеткой величиной, иной величиной в нечисловых шкалах. Возможно и полное отсутствие информации об отдельно взятых оценках.

В общем случае, при интервальном оценивании уместно использовать бета-распределение [6], частным случаем которого является равномерное. Бета-распределение представляет собой двухпараметрическое семейство непрерывных распределений, плотность вероятности которого имеет вид:

$$f(w) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} w^{\alpha-1} (1-w)^{\beta-1}.$$

При $\alpha = \beta = 1$, $f_{ij}(w)$ обращается в стандартное равномерное распределение, которое используется, если изначально известны только границы интервала, на котором распределена случайная величина. Если какой-либо параметр задан экспертом в виде точного значения ($w_{ij} = a$), то его также возможно свести к интервалу (хотя подобная операция значительно увеличит время расчета за счет возрастания числа генераций).

В случае, когда в качестве вероятностной оценки для какой-либо связи выбирается произвольное распределение, его можно также аппроксимировать бета-распределением, рассчитав соответствующие параметры.

Естественно также получать экспертную информацию в лингвистическом представлении – знания могут быть представлены в терминах нечетких переменных. В таком случае вместо функции плотности распределения можно рассматривать функцию принадлежности, которая принимает значения $0 \leq \mu(x) \leq 1$ и характеризует степень принадлежности каждого члена пространства рассуждения данному нечеткому множеству. В качестве функции принадлежности могут быть выбраны разнообразные функции, однако существуют стандартные классы функций принадлежности, используемые для решения большинства задач описания нечетких переменных. Функция принадлежности $\mu(x)$ может быть также аппроксимирована бета-распределением, что в нашем случае возможно, как показано в [7].

В итоге всю полученную информацию мы представляем в виде распределений, с последующей рандомизацией. Преимущество описанного метода в том, что таким способом можно задать многие плохо определенные исходные данные, в том числе и в лингвистическом представлении.

Получение результирующего множества допустимых векторов весовых коэффициентов в процессе рандомизации состоит из нескольких последовательных этапов:

- Генерация случайного вектора на симплексе с заданным распределением;
- Отбор векторов, удовлетворяющих исходной информации о каждом факторе;
- Отбор векторов, удовлетворяющих исходной информации об отношениях.

Для решения задачи генерации используется равномерное распределение на симплексе. Последующий отбор производится с вероятностью выбора вектора, пропорциональной значению функции бета-распределения каждого из его элементов.

На последнем этапе отбираются вектора согласно заданным четким и нечетким отношениям порядка. Каждый отобранный вектор записывается в файл результатов.

В результате серии генераций получаем множество случайных реализаций арифметизированной матрицы факторов риска \mathbf{W} с нормированными по столбцам весовыми коэффициентами, на каждой из которых по определенному алгоритму с учетом транзитивности отношения выполняется расчет реализации детерминированного профиля риска. В совокупности множество этих реализаций предоставляет псевдостатистику для идентификации параметров стохастического профиля риска анализируемого объекта. Рассчитанный профиль риска представляет собой множество распределений, каждое из которых показывает вклад соответствующего фактора на состояние всей исследуемой системы. Есть основание полагать, что каждое из распределений, составляющих профиль также подчиняется бета-закону.

При наличии структурной неопределенности, рассматриваем множество случайных структур, на каждом из которых рассчитывается множество допустимых векторов, которые впоследствии объединяются, и профиль риска рассчитывается на объединении множеств, соответствующих разным структурам.

Аналогично, задав информацию о средствах противодействия и их влиянии на факторы риска, получаем подобный профиль для контрмер.

При сравнении близких по математическим ожиданиям распределений используется рассчитываемая вероятность доминирования в качестве меры превосходства. При этом либо возникает достаточно уверенное предпочтение, что фактически приводит к снижению неопределённости выбора при сохранении исходной неопределённости данных, либо имеется возможность их уточнить, но целенаправленно, на минимально необходимом уровне (уточняем информацию лишь по тем факторам которые попали в группу неопределенности выбора).

Таким образом, разработанная методика позволяет использовать всю совокупность экспертных знаний, независимо от формы их представления. Имеется возможность работать с плохо определенными, неполными, неточными, нечисловыми данными, учитывать плохо согласованные или даже противоречивые мнения различных экспертов. При этом даже при частичном отсутствии знаний, возможно не только оценить риск, но и повысить доверие к полученному результату.

Методика может быть использована на практике в различных предметных областях, где используются данные экспертных оценок, в том числе при мониторинге и прогнозировании чрезвычайных ситуаций, при анализе безопасности критически важных объектов. В частности, всем особенностям разработанной методики хорошо соответствуют задачи оценки рисков в эпидемиологии и эффективности терапии массовых заболеваний, особенно с неоднозначной этиологией, как, например, бронхиальная астма и сопутствующие патологии [8]. Применение методики позволяет интегрировать разнообразие знаний экспертов и объективизировать получаемый стохастический профиль риска и другие оценки, не делая их в то же время императивными, существенно расширив возможности профессионального анализа по сравнению с привычными методами статистики [26].

2. Динамическое моделирование процессов рискообразования

2.1 Динамическая модель риск-анализа

Данная модель представляет собой динамическую интерпретацию структурной метамодели (пункт 1.2. настоящего отчета), которая должна позволить не только проводить оценивание факторов риска, но и проводить исследования динамики поведения системы факторов при различных сценариях развития ситуаций и контрмерах, получая динамические профили как для рисков, так и эффективности контрмер.

Предварительно был проведен анализ применения дифференциальных динамических моделей в различных предметных областях, особенно плохо формализуемых, с целью их интерпретацию для данной предметной области. Наряду с классическими моделями, например, гидродинамическими, рассматривались и достаточно экзотические, например [9]. Однако физические аналогии в силу излишней перегруженности или специализации оказались неподходящими, и было признано целесообразным идти от метамодели риск-анализа.

Итак, имеется структура причинно связанных факторов риска некоторой предметной области (например, рисунок 1.1), заданная в виде связанного ориентированного графа. Каждому узлу этого графа ставится в соответствие один из факторов. Каждой дуге (i, j) этого графа ставится в соответствие интенсивность потока событий $f_{ij}(t)$. Часть факторов является генераторами: часть генераторов событий, потоки которых идут по этой сети (субъекты воздействия), часть генераторов – противодействует потокам этих событий (субъекты противодействия). На графе генераторы являются истоками. Для узлов графа, не имеющих потомков, вводится вершина Z , являющаяся стоком и дуги,

направленные от этих узлов к ней. Узлы графа, не являющиеся истоками или стоком, являются преобразователями этих событий.

Будем называть потоки событий – угрозами, тогда генераторы событий – это источники угроз, генераторы, противодействующие этим угрозам – средства защиты от угроз, преобразователи – факторы риска, сток (вершина Z) графа – состояние защищаемого от угроз объекта, а компоненты защищаемого объекта связаны дугами с вершиной Z .

Для каждой пары узлов можно определить суммарный поток событий F_{ij}^T за время T :

$$F_{ij}^T = \int_0^T f_{ij}(t) dt .$$

С помощью суммарного потока событий можно вычислить долю событий i -го типа, породивших события j -го типа w_{ij} :

$$w_{ij} = \frac{F_{ij}^T}{\sum_{k \in K} F_{kj}^T}$$

где K – множество узлов, связанных дугой с узлом j ; $i \in K$.

Пусть \overline{W} - матрица смежности графа. Обозначим состояние j -го фактора как $x_j(t)$. Будем считать, что эти состояния связаны соотношением

$$x_j(t) = D_j \left(\sum_{\substack{i_k \in N \\ w_{i_k, j} = 1}} x_{i_k}(t) \right)$$

где D_j - интегро-дифференциальный оператор.

В матричном виде при $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, $\mathbf{D} = \text{diag} (D_1, D_2, \dots, D_n)$

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{D} \cdot (\overline{W} - \text{diag} \overline{W}) \cdot \mathbf{x}(t) .$$

Поскольку обычно одни факторы порождают другие с запаздыванием, для каждой пары (i, j) имеют место задержки τ_{ij} .

Однако идентификация такой модели, как и оценочного варианта, потребует знаний экспертов и данных пассивных экспериментов.

2.2. Динамическая модель взаимодействия социо-технических факторов и безопасности

Анализ социально-экономического развития как объекта управления и исследований, во всяком случае с позиции стороннего наблюдателя, не включенного в доминирующие в настоящее время экономические теории и практики, выглядит крайне монетизированным, и поэтому исключаящим возможность адекватного учёта взаимодействия с теми факторами, которые не поддаются монетизации, без потери смысла, что неизбежно делает анализ не достаточно системным.

К таким факторам, в частности, следует отнести состояние национальной безопасности (НБ) и научно-технического развития (НТР), соотношение которых и взаимодействие подробно исследованы, например, в [10]. Попытки монетизации и коммерциализации науки пока не дали полезных для экономики и для неё самой результатов, а что касается безопасности и вообще критических приложений, то их

экономическая оценка имеет свои особенности и не должна быть монетарно прямолинейной [11].

На наш взгляд для таких случаев подходящим инструментом качественного исследования является аппарат динамических систем, хорошо изученный и отличающийся разнообразием. В первом приближении, поскольку многие системы, изменение состояния которых согласовано с законами сохранения, могут быть описаны на языке обыкновенных дифференциальных уравнений [12], это может быть простейшая система таких уравнений.

Опыт применения подобного рода динамических моделей в различных предметных областях, в том числе плохо формализуемых, имеет уже давнюю историю (достаточно упомянуть работы школы Н.Н.Моисеева), показав их, по крайней мере, познавательную и прогностическую полезность. Тогда, связав в систему динамического взаимодействия некоторый набор существенных в определённом контексте факторов, расчётным путём можно будет обеспечить возможность оценки развития ситуации при альтернативных сценариях, оценивать эффективность управляющих воздействий и т.д.

Поэтому естественно попытаться применить этот аппарат для моделирования и анализа динамики взаимодействия НТР, в частности развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и обеспечения НБ, а в дальнейшем - информационной борьбы, причем, как в макро масштабе, например, государственной политики, так и на технологическом уровне. [13]

Прежде всего, при использовании данного аппарата необходимо было определить фазовое пространство, что, вообще говоря, является непростой и неоднозначно решаемой задачей, но в нашем случае основные фазовые переменные уже определились контекстуально. Оставалось для достижения некоторой полноты фазового пространства и связности модели найти подходящую содержательную основу.

Развитие и распространение ИКТ сопровождается нарастанием и усложнением ИБ разного масштаба. ИБ неотъемлемо присутствует во всех аспектах НБ. Последние годы демонстрируют отчетливую тенденцию того, что обеспечение ИБ на различных её уровнях и в разных аспектах приобретает черты противоборства и становится непрерывным процессом. При этом в России существуют взаимоисключающие взгляды на стратегию развития ИКТ в России.

В силу этого, необходимы инструменты объективного анализа и прогноза, а именно, средства математического моделирования. Эти средства, после связывания в систему динамического взаимодействия некоторый набор существенных в определённом контексте факторов, обеспечат возможность оценки развития ситуации при альтернативных сценариях, воспроизводить различные варианты поведения сторон, оценивать эффективность управляющих воздействий и т.д.

Отправной точкой модели [14], ещё не включавшая процессы противоборства, в качестве содержательной основы была использована структурная схема (рисунок 2.1), основанная на схеме из [15], иллюстрирующая взаимодействие развития ИКТ и обеспечения НБ через систему других разнонаправленно действующих факторов. После упрощения для удобства моделирования она была преобразована к виду, представленному на рисунке 2.2.

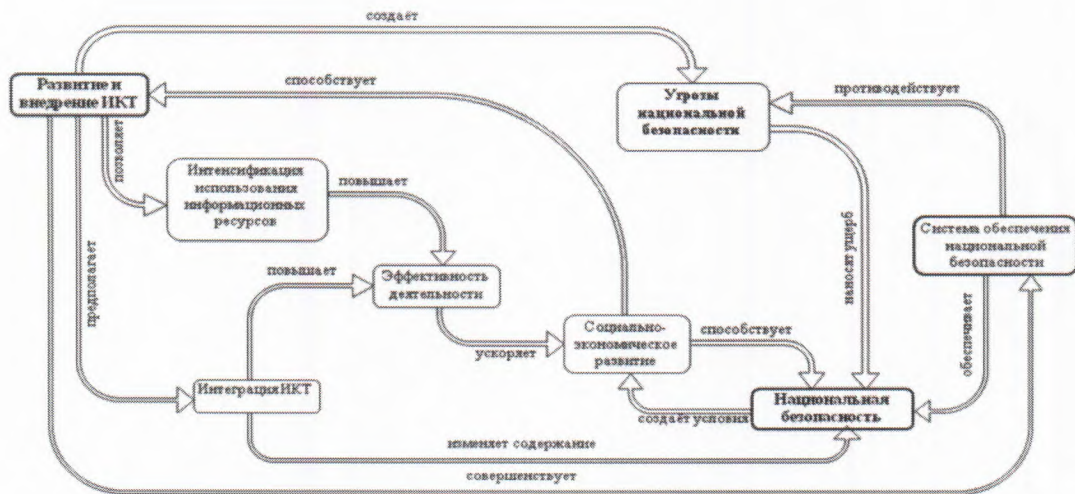


Рис. 2.1 Структура влияния развития ИКТ на обеспечение национальной безопасности.

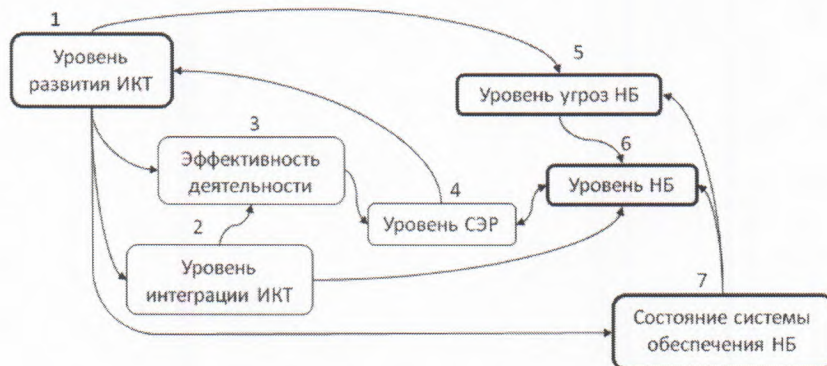


Рис. 2.2 Упрощённая структурная схема влияния развития ИКТ на обеспечение национальной безопасности.

В качестве фазовых переменных выступают элементы структурной схемы:

- y_1 – уровень развития ИКТ;
- y_2 – уровень интеграция ИКТ;
- y_3 – эффективность деятельности по повышению уровня СЭР;
- y_4 – уровень СЭР;
- y_5 – уровень угроз НБ;
- y_6 – уровень НБ;
- y_7 – состояние системы обеспечения НБ.

Динамика каждой из фазовых переменных определяется суммой двух линейных комбинаций: линейной комбинации всех фазовых переменных и линейной комбинации производных всех фазовых переменных, исключая данную.

Уравнения динамической модели системы взаимодействия развития ИКТ и обеспечения НБ имеют вид:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = p_1 y_1 + q_{41} \dot{y}_4 \\ \dot{y}_2 = q_{12} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_3 = q_{13} \dot{y}_1 + q_{23} \dot{y}_2 \\ \dot{y}_4 = q_{34} \dot{y}_3 + q_{64} \dot{y}_6 \\ \dot{y}_5 = p_5 y_5 + q_{15} \dot{y}_1 - q_{75} \dot{y}_7 \\ \dot{y}_6 = q_{26} \dot{y}_2 + q_{46} \dot{y}_4 - q_{56} \dot{y}_5 - q_{76} \dot{y}_7 \\ \dot{y}_7 = p_7 y_7 + q_{17} \dot{y}_1 \\ (q_{ij})^2 + (p_{ij})^2 \neq 0 \end{cases}, \quad (2.1)$$

где

p_{ij} - коэффициенты влияния y_i на динамику y_j , для $i \neq j$, а на главной диагонали расположены собственные потенциалы i -го фактора p_i (потенциал представляет собой приращение или убыль относительно начального состояния в единицу времени);

q_{ij} - коэффициенты влияния динамики y_i на динамику y_j , $i \neq j$, $q_{ii} = 0$.

Рассмотрим процедуру составления этих уравнений на примере уравнения для y_4 :

1. Согласно схеме, существуют направленные к y_4 связи от y_3 и от y_6 ;
2. Предполагается, что на динамику y_4 влияет только динамика y_3 и y_6 , причём влияние – положительное;

Следовательно, уравнение для y_4 имеет вид:

$$\dot{y}_4 = q_{34} \dot{y}_3 + q_{64} \dot{y}_6$$

Аналогичным образом строятся все уравнения системы (2.1).

Исходя из содержательного смысла модели, можно сделать некоторые предположения и наложить ограничения на её элементы:

1. Несколько упрощая, будем считать, что значения фазовых переменных влияют только на собственную динамику;
2. Факторы 2, 3, 4, 6 – пассивны, и соответствующие им $p_i = 0$;
3. Уровень угроз НБ только возрастает, поэтому $p_5 > 0$;
4. Однозначная направленность взаимовлияния факторов позволяет для всех q_{ij} кроме q_{26} , зафиксировать знаки соответствующих членов в уравнениях, тогда $q_{ij} > 0$, $i \neq 2$, $j \neq 6$;
5. На коэффициенты p_1, p_7, q_{26} ограничения по знаку не налагаются;
6. Фазовые переменные имеют смысл отношения текущего значения к начальному, поэтому $y_i \geq 0$, а начальные условия $y_i(0) = 1$.

2.3. Некоторые результаты моделирования

На рис. 2.3 показаны некоторые результаты моделирования на системе (2.1) в виде трёх диаграмм, где t - время, p_1 – потенциал развития ИКТ, и y_6 – уровень НБ (см. выше).

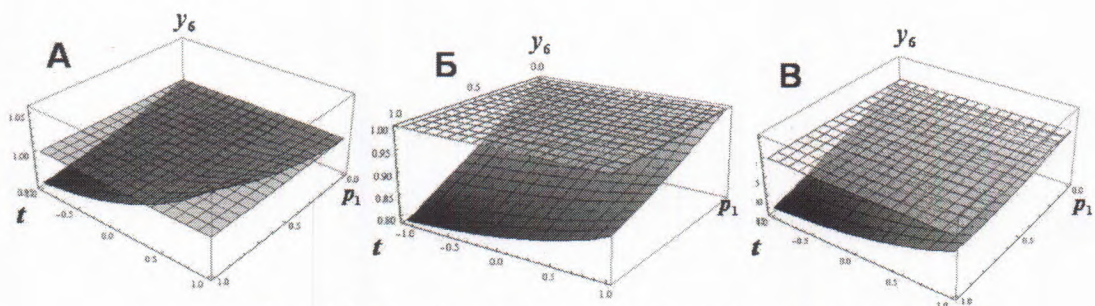


Рис. 2.3 Результаты моделирования на системе (2.1).

Диаграмма А - благоприятный вариант развития ситуации (положительный потенциал системы обеспечения НБ, $p_7 > 0$). Уровень НБ ($y_6 > 0$) монотонно растёт при достаточных потенциалах развития ИКТ (p_1) и системы обеспечения НБ.

Диаграмма Б - неблагоприятное развития ситуации (отрицательный потенциал системы обеспечения НБ, $p_7 < 0$). Любой вариант развития ИКТ при деградации системы обеспечения НБ приводит к резкому снижению уровня безопасности.

Диаграмма В - промежуточный вариант развития процесса (нулевой потенциал системы обеспечения НБ). Стагнация системы обеспечения НБ, как и её деградация (Б), в любом случае ведёт не к фиксации, а к снижению уровня национальной безопасности.

Построенная модель, дала правдоподобные результаты, показав возможность применения дифференциальных моделей для решения задач, подобных рассмотренной.

2.4. Моделирование информационного противоборства

Поскольку технология обеспечения ИБ требует уже тех или иных атакующих воздействий на потенциального противника, «исходя из старого лозунга: нападение лучший способ обороны» [16] было принято решение о построении модели информационного противоборства. На основе структурной схемы для динамической модели взаимодействия развития ИКТ и обеспечения национальной безопасности была построена структурная схема, представленная на рис. 2.4, и положенная в основу модели с симметричным противоборством. Она состоит из двух симметричных модулей, способных работать автономно, либо взаимодействовать в противоборстве. Цифрами на схеме представлены фазовые переменные системы, аналогичные по смыслу переменным в ранее рассмотренной модели и, при этом, позволяющие масштабировать модель без изменения структуры. Управление заключается в распределении долей ресурсов, идущих на повышение потенциала развития системы и на повышение уровня системы обеспечения безопасности. Блоки управления представляют отдельные управляющие системы.

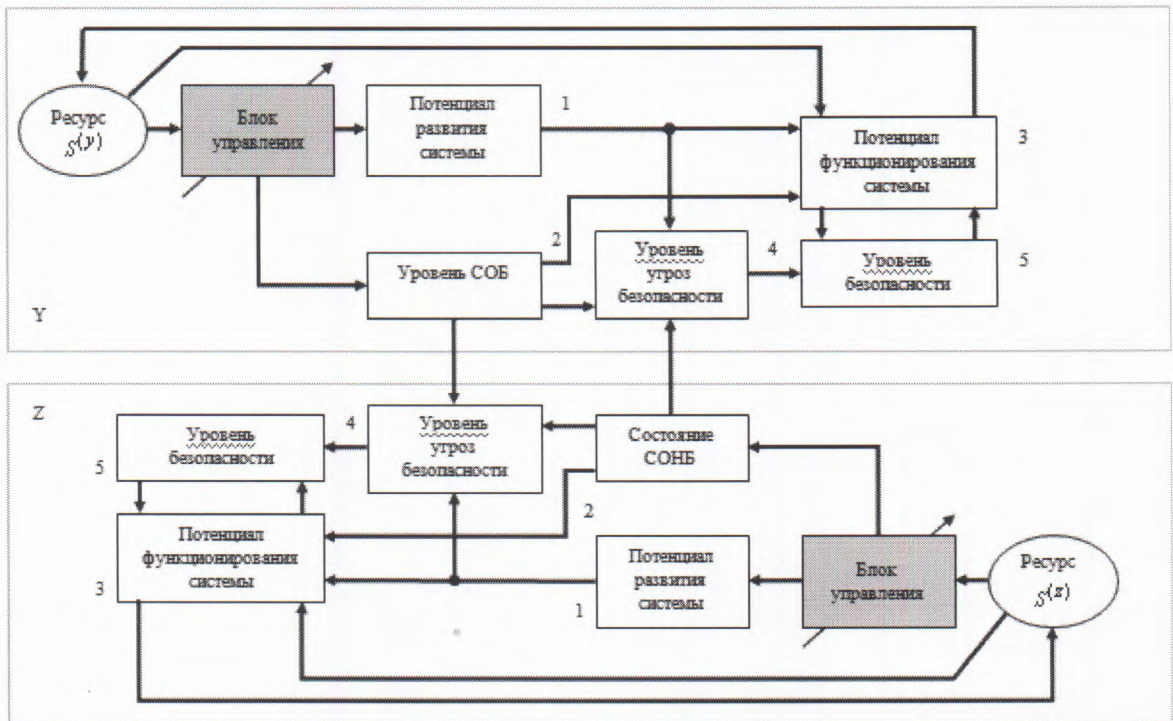


Рис. 2.4 Структурная схема модели информационного противоборства.

Уравнения модели информационного противоборства стоятся аналогично таковым в динамической модели системы взаимодействия развития ИКТ и обеспечения НБ. Система уравнений, описывающих стороны противоборства, имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{dy_1}{dt} = -p_{11}^{(y)} y_1 + p_{s1}^{(y)} u_1^{(y)} s^{(y)} \\
\frac{dy_2}{dt} = -p_{22}^{(y)} y_2 + p_{s2}^{(y)} u_2^{(y)} s^{(y)} \\
\frac{dy_3}{dt} = -p_{33}^{(y)} y_3 + q_{13}^{(y)} \frac{dy_1}{dt} + q_{23}^{(y)} \frac{dy_2}{dt} + q_{s3}^{(y)} \frac{dy_s}{dt} + p_{s3}^{(y)} u_3^{(y)} s^{(y)} \\
\frac{dy_4}{dt} = -q_{14}^{(y)} \frac{dy_1}{dt} - p_{24}^{(y)} y_2 - q_{24}^{(y)} \frac{dy_2}{dt} + p^{(zy)} z_2 + q^{(zy)} \frac{dz_2}{dt} \\
\frac{dy_5}{dt} = q_{35}^{(y)} \frac{dy_3}{dt} - p_{45}^{(y)} y_4 - q_{45}^{(y)} \frac{dy_4}{dt} \\
\frac{d(s^{(y)})}{dt} = (-k_1^{(y)} u_1^{(y)} - k_2^{(y)} u_2^{(y)} - k_3^{(y)} u_3^{(y)}) s^{(y)} + g^{(y)} y_3 \\
u_1^{(y)} + u_2^{(y)} + u_3^{(y)} = 1 \\
u_3^{(y)} = const \\
\frac{dz_1}{dt} = -p_{11}^{(z)} z_1 + p_{s1}^{(z)} u_1^{(z)} s^{(z)} \\
\frac{dz_2}{dt} = -p_{22}^{(z)} z_2 + p_{s2}^{(z)} u_2^{(z)} s^{(z)} \\
\frac{dz_3}{dt} = -p_{33}^{(z)} z_3 + q_{13}^{(z)} \frac{dz_1}{dt} + q_{23}^{(z)} \frac{dz_2}{dt} + q_{s3}^{(z)} \frac{dz_s}{dt} + p_{s3}^{(z)} u_3^{(z)} s^{(z)} \\
\frac{dz_4}{dt} = -q_{14}^{(z)} \frac{dz_1}{dt} - p_{24}^{(z)} z_2 - q_{24}^{(z)} \frac{dz_2}{dt} + p^{(yz)} y_2 + q^{(yz)} \frac{dy_2}{dt} \\
\frac{dz_5}{dt} = q_{35}^{(z)} \frac{dz_3}{dt} - p_{45}^{(z)} z_4 - q_{45}^{(z)} \frac{dz_4}{dt} \\
\frac{d(s^{(z)})}{dt} = (-k_1^{(z)} u_1^{(z)} - k_2^{(z)} u_2^{(z)} - k_3^{(z)} u_3^{(z)}) s^{(z)} + g^{(z)} z_3 \\
u_1^{(z)} + u_2^{(z)} + u_3^{(z)} = 1 \\
u_3^{(z)} = const
\end{array} \right. \quad (2.2)$$

где

$p_{ij}^{(X)}$ - коэффициенты влияния X_i на динамику X_j , для $i \neq j$;

$q_{ij}^{(X)}$ - коэффициенты влияния динамики X_i на динамику X_j , $i \neq j$, $q_{ij}^{(X)} = 0$;

$s^{(X)}$ - ресурс X -ой стороны;

$u_j^{(X)}$ - доля ресурса, идущая на восстановление динамики j -ой переменной X -ой

стороны

$k_j^{(X)}$ - коэффициенты, определяющие скорость расходования ресурса X -ой стороны;

$g^{(X)}$ - доля продукта СЭР, идущая на восстановление ресурса X -ой стороны.

$X = \{y, z\}$

Таким образом, уравнения системы (2.2) подобны уравнениям модели (2.1). Исключением являются те из них, построенные по аналогии с модифицированной моделью Форрестера [17], которые содержат в левых частях производные от ресурсов сторон.

Блок управления имеет вид, показанный на рисунке 2.5:



Рис. 2.5. Общий вид блока управления в модели информационного противоборства.

Алгоритм управления и критерии управления находятся в блоке "решающее устройство". Управление, осуществляемое этим блоком, состоит в распределении ресурсов на поддержание уровня соответствующих факторов. Фактически, блок управления - отдельная самостоятельная система.

В ходе исследований были выделены три возможные цели сторон – паритет, доминирование и уничтожение. Для каждой цели применяется свой алгоритм управления. Каждая сторона имеет свою собственную цель.

Ситуация паритета описывается формулой

$$F(t) = |y_s(t) - z_s(t)| < \delta, \forall t > T_0$$

Ситуация доминирования описывается формулой

$$F(t) = y_s(t) - z_s(t) > \delta, \forall t > T_0$$

Ситуация уничтожения описывается формулой

$$F(t) = z_s(t) < \delta, \forall t > T_0$$

Все возможные пары управлений, выбранных сторонами, представлены в табл. 2.1

Табл. 2.1 Варианты сочетаний управлений сторон.

	Паритет	Доминирование	Уничтожение
Паритет	+	+	-
Доминирование	+	+	+
Уничтожение	-	+	+

Если одна из сторон выбрала паритет, а другая – уничтожение, то это сводится к взаимному паритету:

$$y_s(t) < \delta_1, z_s(t) < \delta_2, \forall t > T \Leftrightarrow |y_s(t) - z_s(t)| < \max(\delta_1, \delta_2), \forall t > T$$

В зависимости от цели управления выбираются информационные обратные связи, ведущие к блоку управления.

3. Нелинейные эффекты в оценке обеспечения безопасности критически важных объектов

Современные объекты реальной, производящей экономики, крупные финансовые структуры, системы государственного, военного управления являются сложными организационно-техническими системами, склонными к нелинейному поведению, и возникновение критических состояний в них не должно считаться исключительным явлением. В структурно сложных объектах незначительный локальный сбой, первичный отказ может сыграть роль малого параметра и привести к непредсказуемому системному, вплоть до катастрофического, эффекту. Такие системы выполняют интегрирующие, инфраструктурные функции в обеспечении основных видов жизнедеятельности людей, объективно становясь критическими в статусном смысле. Но и статусное понимание критичности, что заставляет выделять КВО, неявным образом свидетельствует о нелинейном характере их поведения, по крайней мере, в восприятии меры риска. Сложные организационно-технические системы, должны рассматриваться как нелинейные динамические системы, поведение которых предполагает возможность перехода в критическое состояние в физическом смысле, независимо от их назначения.

Определение разумного уровня затрат различных ресурсов на обеспечение безопасности функционирования такого рода систем в условиях присущей им нелинейности, плохой прогнозируемости поведения и неизбежной ограниченности ресурсов является насколько важной настолько же нетривиальной и неоднозначной задачей. С одной стороны, очевидно, неразумны большие затраты при умеренных рисках, но, с другой стороны, может быть, ещё более опрометчивой будет «экономия» при их недооценке. Основная сложность при этом состоит в недостаточной определенности идентификации и оценок рисков, возможность которых ограничена знанием (незнанием) и неизбежным субъективизмом экспертов. Кроме того, не всегда оценки стоимостных показателей в номинальном денежном измерении адекватно отражают реальность.

Затраты на обеспечение безопасности можно при желании наращивать почти неограниченно, либо, наоборот, недооценить потенциальный ущерб. На вопрос, как определить уровень затрат, оптимизирующий суммарные издержки на защиту и остаточный ущерб, как сумму двух разнонаправленных функций, казалось бы давно имеется классический ответ, но практика иногда кардинально ему противоречит, например, в сфере информационной безопасности [15]. К экономике безопасности плохо применимы традиционные подходы, а практика демонстрирует парадоксальное явление одновременного роста как затрат на защиту информационных активов, так и ущерба от нарушений их безопасности.

Характерна в приложении к рассматриваемой ситуации антиномия, неявно сформулированная в [18]. С одной стороны, утверждается, что «Любой аргумент оценки уровня безопасности должен исходить из того, что твёрдо установлен экономический эквивалент угрозы», но там же в другом месте: «защитные мероприятия ... могут быть необходимы и тогда, когда они непосредственно не окупаются экономически». Оба приведённых высказывания, безусловно, справедливы, но как тогда принимать практические решения.

Таким образом, необходим подход, который позволил бы снять формальное противоречие между экономическими ограничениями, с одной стороны, и требованиями безопасности, развития и т.д., с другой, обеспечив между ними рационально обоснованный компромисс. Он становится возможным, если учесть явно нелинейный характер восприятия меры риска в критических приложениях.

Ранее нами была показана возможность и методика нелинейного преобразования меры риска с использованием функций степенного распределения, аппроксимирующей экспоненциальный закон распределения, часто используемый в качестве моделей первичных характеристик, связанных со временем. Полученные результаты позволили

предложить подход к оценке применения средств защиты информационных активов с нелинейных позиций [19]. Используя представления теории надежности (связав меру риска с временем восстановления) было выполнено нелинейное преобразование временной шкалы, что позволило связать показатели надёжности и безопасности [20]. Далее, полагая, что, «чем дороже время, тем дешевле деньги», естественно было обратить внимание на возможность подобного преобразования для стоимостных характеристик затрат на обеспечение безопасности или, говоря шире, в условиях критичности.

Выбор степенного закона для моделирования нелинейности не случаен. Его значимость в моделях нелинейной динамики достаточно убедительно было показано в работах ряда авторов, причём, что важно, исходя из разных позиций. Они представлялись и как статистические образы катастрофического поведения [21]; и как свойственные системам развивающегося типа [22]; и присущие системам с положительной обратной связью на основе анализа кинетических уравнений больцмановского типа [23]. Статистические исследования самых разнообразных явлений на эмпирическом уровне давно обнаруживали такую же зависимость (законы Парето, Лотки, Ципфа и др.). В итоге было признано, что для рассматриваемого класса объектов имеются основания считать степенные функции наиболее адекватными как для описания динамических свойств, так и в функциях распределения вероятностей меры риска.

Коротко представим необходимые изложения преобразования. Определим функции, плотности и интегральную, экспоненциального и степенного законов распределения вероятностей без потери общности, соответственно, в виде (3.1) и (3.2):

$$f_{\text{exp}}(t) = \lambda e^{-\lambda t}, F_{\text{exp}}(x) = 1 - e^{-\lambda x}, t \geq 0, \lambda > 0 \quad (3.1)$$

$$f_p(t) = \alpha (t+1)^{-(\alpha+1)}, F_p(x) = 1 - (t+1)^{-\alpha}, t \geq 0, \alpha > 0 \quad (3.2)$$

с математическими ожиданиями

$$m_{\text{exp}}(\lambda) = \frac{1}{\lambda}, \lambda > 0, m_p(\alpha) = \frac{1}{\alpha+1}, \alpha > 1. \quad (3.3)$$

Положим, что функция (3.1) представляет распределение некоторых величин в первичной физической шкале, например, временной. Тогда задача отображения первичного распределения в распределение меры риска будет состоять в приближении распределения вида (3.1) распределением вида (3.2), учитывая, как показано в [19], что между их параметрами с достаточным качеством можно установить простое соотношение:

$$\alpha = \lambda + 1, \quad (3.4)$$

и, далее, определении параметра степенного распределения в новой шкале при сохранении вида функции, то есть:

$$\alpha_x (t_x + 1)^{-(\alpha_x+1)} \rightarrow \alpha_z (t_z + 1)^{-(\alpha_z+1)}, \quad (3.5)$$

где α_x и α_z — параметры распределения (3.2), соответственно, в шкалах t_x и t_z .

Решение этой задачи несложно, однако возникает вопрос, из каких соображений назначать параметр α_z ? Если α_x является либо первичным, физически наблюдаемым, либо определяется из приближения экспоненциального распределения (3.1) соответственно (3.4), как $\alpha_x = \lambda + 1$, то для определения α_z необходимо найти то или иное правило, позволяющее его идентифицировать.

Поскольку интегральным показателем риска в некоторой шкале его меры можно считать математическое ожидание соответствующего распределения вероятностей, то

довольно естественно, хотя и не обязательно, изменение меры оценивать отношением математических ожиданий исходного и преобразованного распределений. Тогда в нашем случае достаточно задать коэффициент k_z , выражающий, например, изменение относительной ценности активов, который согласно (3.3) выразится в следующем виде:

$$k_z = \frac{m_p(\alpha_z)}{m_p(\alpha_x)} = \frac{\alpha_x - 1}{\alpha_z - 1}, \quad (3.6)$$

откуда не трудно найти искомый параметр:

$$\alpha_z = \frac{\lambda}{k_z} + 1, \quad k_z > 0, \quad (3.7)$$

как функцию от двух параметров: показателя значимости активов k_z и параметра исходного распределения λ , имеющего смысл полезного результата, через которые выразим преобразование исходной шкалы. Для этого используем в качестве аналогии стандартную функцию интенсивности восстановления: $h(t) = f(t)/(1 - F(t))$. Для распределения (3.2) она выразится в виде $h(t) = \alpha/(t+1)$. Тогда в шкале t_x функция $h(t)$ запишется как $h_x = \alpha_x/(t_x + 1)$, а в шкале t_z как $h_z = \alpha_z/(t_z + 1)$. Далее введём функцию

$H(t) = \int_0^t h(x) dx$, смысл которой можно свести к физическому объёму восстановления, и поэтому, очевидно, инвариантную относительно шкал. Следовательно, имеется основание записать равенство $H(t_x) = H(t_z)$, откуда легко определяется искомая зависимость меры риска от исходной меры в номинальном измерении:

$$t_z + 1 = (t_x + 1)^K, \quad (3.8)$$

где $K = k_z(\lambda + 1)/(\lambda + k_z)$.

Таким образом, оказывается, что $t_z \sim t_x^K$, а показатель K тогда можно считать своего рода релятивистским коэффициентом.

Полученное преобразование может представлять самостоятельный интерес для различных приложений, здесь же мы сделаем попытку интерпретировать его в стоимостных категориях, используя указанную выше связь между «временем» и «деньгами» в критических условиях. Отметим, что «время» следует понимать условно, так как вместо него может быть другой параметр.

Представим полные издержки в условиях предотвращения или преодоления критических состояний (на обеспечение безопасности, рискованные вложения, технологические скачки и т.п.), как функцию c от качества результата, в традиционном виде суммы монотонных функций, возрастающей - целевых затрат c_0 и убывающей - остаточного ущерба c_r .

Первую из них в наших терминах для простоты выразим в достаточно общем и гибком виде: $c_0 = a\lambda^b$, $a > 0$, $b \geq 1$, как функцию от параметра распределений (3.1) или (3.2) в исходной шкале, связанных выражением (4), а вторую – естественно приравнять математическому ожиданию (3.3) степенной функции, но уже в преобразованной шкале, и согласно (3.3) и (3.7) она запишется как $c_r = k_z/\lambda$.

Тогда их сумма, функция полных издержек c , в «линейном» варианте c_L , и для «нелинейной» шкалы стоимости естественно преобразованной соответственно зависимости (3.8) - c_N , при сохранении вида для c_r выразится следующим образом:

$$C_L = a\lambda^b + k_z/\lambda, \quad C_N = (a\lambda^b)^{\frac{1}{k}} + k_z/\lambda. \quad (3.9)$$

Не станем приводить здесь вполне обычный, но громоздкий анализ введённых функций, достаточно будет оценить качественные закономерности, хорошо заметные на их графиках (рисунок 3.1), построенных при умеренных значениях коэффициентов a и b .

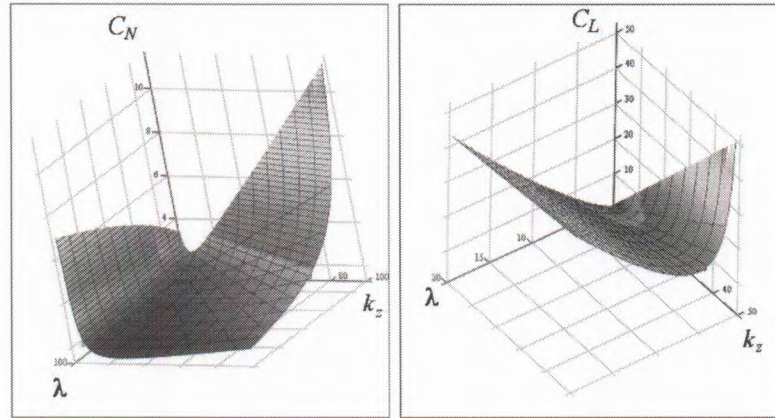


Рисунок 3.1. Сравнительный вид функции полных издержек.

На графике функции C_L легко видеть, что, как ей и положено, она демонстрирует наличие оптимума, причём значения коэффициентов a и b за исключением крайних мало влияют на её характер. Но этот оптимум очень слабо зависит от параметра k_z , и, кроме того, он располагается в области малых значений λ , то есть оптимальность затрат при такой постановке задачи никак не определяется значимостью объекта, так как всюду $(C_L)_{k_z}' > 0$, и существенно ограничивает результативность. Но будет ли разумным такое «оптимальное» поведение при больших значениях k_z , то есть когда объект в том или ином смысле критически значим? Этот вопрос, по сути, равносильен следующему, а правильно ли тогда исчислять затраты в номинальном измерении?

График функции C_N радикально отличается от первого. На нём можно обнаружить оптимум, но, во-первых, он слабо выражен, а главное – не определяется λ , так как всюду $(C_N)_{\lambda}' < 0$, при этом для больших k_z и малых λ и, наоборот, малых k_z и больших λ издержки в нелинейном исчислении резко возрастают, т.е. в зависимости от значимости объекта излишняя забота, например, о безопасности может быть столь же экономически неразумна, что и бездействие.

В заключение введём в рассмотрение функции эффективности затрат в простейшем выражении соотношения «результат-цена»: $E_L = \lambda/C_L$ и $E_N = \lambda/C_N$. На рисунке 3.2 показаны полученные зависимости.

На них можно увидеть в целом те же закономерности, которые обнаружили при сопоставлении предыдущих графиков, например, в поведении с точностью до знака частных производных: $(E_L)_{k_z}' < 0$ и $(E_N)_{\lambda}' > 0$.

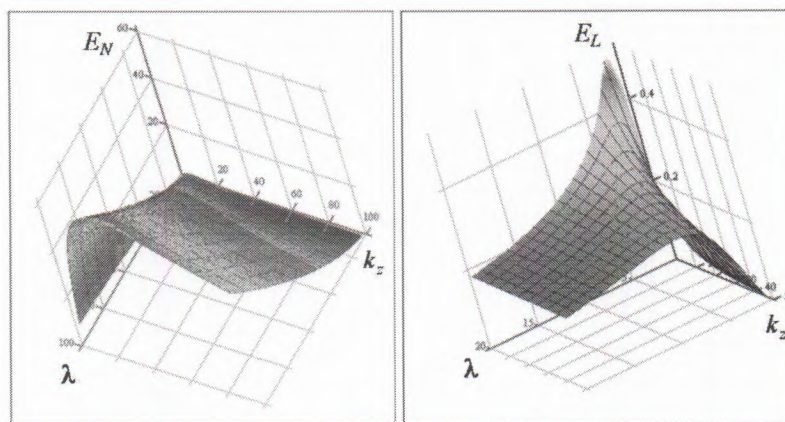


Рисунок 3.2. Сравнительный вид функции эффективности затрат.

Приведённые выше абстрактные построения, формальный анализ, как это ни странно, иногда неплохо согласуются с практической деятельностью в критических ситуациях, с решениями, принимаемыми на интуитивном уровне. Например, результаты исследований свидетельствуют, что «Российские компании с неохотой вкладывают средства в информационную безопасность» [24]. Так может быть, они, действуя интуитивно, или, будучи ограничены в ресурсах, правы? С другой стороны, нельзя исключать ситуации, когда наиболее экономически эффективной может оказаться политика, следующая принципу: «за цену не постоим». Для рационального обоснования тех или иных решений в терминах представленной модели в каждом случае остаётся решить «простую» задачу ситуативного определения параметра k_z .

Проверена также гипотеза о применении устойчивых пропорций для исчисления оптимальных затрат на обеспечение безопасности [18], и, по крайней мере, частично она нашла подтверждение в контексте представленной модели [25].

Заключение

Задачи, определённые техническим заданием на 2014 год решены. Определены концепции, подходы и требования к разработке, разработаны математические модели и методики анализа динамики процессов рискообразования и управления рисками в условиях неопределённости.

В том числе, разработана методика, позволяющая преобразовывать разнородные экспертные данные и получать на их основе стохастические оценки. Использование бета-распределения даёт возможность достаточно гибко осуществлять это преобразование. Программная реализация методики позволит преодолеть такие недостатки существующих программных продуктов, как точечность оценок и ограничение на способы задания экспертных данных, а получаемый в результате стохастический профиль риска позволяет повысить эффективность и снизить неопределённость принятия решений в условиях недостаточности и неполноты исходной информации.

Исследованы также возможности дифференциальных динамических моделей для моделирования процессов рискообразования и анализа проблем безопасности, разработаны соответствующие математические модели.

Разработан подход к экономической оценке стоимости и эффективности решений по обеспечению безопасности в условиях критичности, основанный на нелинейном преобразовании физических шкал в шкалу меры риска с использованием степенных функций распределения. Выполненный анализ показал, что с учётом нелинейного поведения систем или восприятия риска экономические оценки также могут нелинейно

преобразовываться, и тогда оптимальные решения будут находиться в области значений параметров почти ортогональной относительно традиционных решений.

Подготовлен промежуточный научный отчет, по тематике выполненных исследований в 2014 году опубликовано 10 печатных работ [26-35] и сделаны доклады на 8 научных конференциях:

Международная научно-практическая конференция «Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности», Академия МВД Республики Беларусь, Минск, 19 июня 2014;

IV Всероссийская конференция «Математическое моделирование и вычислительно-информационные технологии в междисциплинарных научных исследованиях». Иркутск, 30 июня – 4 июля 2014 г.

Конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'14», Дивноморское, 2-9 сентября 2014 г

VIII Международная школа-симпозиум «Анализ, Моделирование, Управление, Развитие экономических систем (АМУР-2014)», Севастополь, 12-21 сентября 2014 г.

7-я российская мультikonференция по проблемам управления. Конференция «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2014), Санкт-Петербург, 7-9 октября 2014 г.

XIV Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика» (РИ-2014), Санкт-Петербург, 29–31 октября 2014 г.

IV Всероссийская научная конференция с международным участием «Технологии информатизации профессиональной деятельности (в науке, образовании и промышленности)» (ТИПД-2014), Ижевск, 5–8 ноября 2014 г.

Двенадцатая международная научная школа «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах» (МАБР – 2014), Санкт-Петербург, 18-20 ноября 2014 г.

Список использованных источников

1. Мадера А.Г. Риски и шансы: Неопределенность, прогнозирование и оценка, М.: КРАСАНД, 2014. – 448с.
2. Shishkin V.M., Savkov S.V. The Method of Interval Estimation in Risk-Analysis System // Proceedings of the Second International Conference on Security of Information and Networks: October 6-10, 2009, Famagusta, North Cyprus. — NY: ACM, 2009. — P. 3-7.
3. Колмогоров А.Н. Теория алгоритмов и теория информации. — М.: Наука, 1987. — 305 с.
4. Шишкин В.М. Представление и использование системы неполных гетерогенных знаний для анализа процессов рискообразования // Технологии информатизации профессиональной деятельности (в науке, образовании и промышленности) – ТИПД-2014: Труды IV Всероссийской научной конференции с международным участием. Том 1. Ижевск, 5-8 ноября 2014 г. / Под ред. С.Г.Маслова – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2014. – С. 78.
5. Шишкин В.М. Метамоделю анализа, оценки и управления безопасностью информационных систем // Проблемы управления информационной безопасностью: Сборник трудов ИСА РАН; под ред. Д.С.Черешкина. — М.: Едиториал УРСС, 2002. — С. 92-105.
6. Шишкин В.М., Савков С.В. Методика арифметизации неполной гетерогенной исходной информации для идентификации профиля рисков // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды Международной научной школы МА БР – 2010 (Санкт-Петербург, 6-10 июля, 2010 г.) - СПб.: ГУАП. СПб., 2010. — С. 295-300.
7. Шишкин В.М. О возможности получения стохастических оценок по неполной гетерогенной информации // Надёжность и качество 2013: труды Международного симпозиума: в 2 т./ под ред. Н.К.Юркова. Т.1. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. – 1 т.- С.82-86.
8. Многоликая бронхиальная астма, диагностика, лечение и профилактика. Под ред. Г.Б.Федосеева, В.И.Трофимова, М.А.Петровой. – СПб.: Нордмедиздат, 2011. – 344 с.
9. Швецов В.И., Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и телемеханика, 2003, № 11, с. 3–46.
10. Юсупов Р.М. Наука и национальная безопасность. 2-е изд. – СПб.: Наука, 2011. – 376 с.
11. Шишкин В.М. Эффективность экономических решений в критических приложениях – эффекты нелинейности меры риска // Анализ, моделирование, управление, развитие экономических систем: сборник научных трудов V Международной школы-симпозиума АМУР-2011, Севастополь, 12-18 сентября 2011. / отв. ред. М.Ю.Кусый, А.В.Сигал. – Симферополь: ТНУ им. В.И.Вернадского, 2011 – С. 397-401.
12. Моисеев Н.Н. Универсум. Информация. Общество. – М.: Устойчивый мир, 2011. – 200с.
13. Шишкин В.М., Абросимов И.К. Динамическая модель системы взаимодействия развития ИКТ и обеспечения национальной безопасности // Информационная безопасность регионов России (ИБРР–2013). VIII Санкт–Петербургская межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 23–25 октября 2013.: Труды конференции / СПОИСУ. — СПб., 2013. (в печати)
14. Шишкин В.М., Абросимов И.К. Динамическая модель системы взаимодействия развития ИКТ и обеспечения национальной безопасности // Информационная безопасность регионов России (ИБРР–2013). VIII Санкт–Петербургская межрегиональная конференция. Санкт-Петербург, 23–25 октября 2013.: Материалы конференции / СПОИСУ. — СПб., 2013. — С. 25.

15. Юсупов Р.М., Шишкин В.М. Информационно-коммуникационные технологии и национальная безопасность – противоречивая реальность // Информатизация и связь, № 1, 2010. — С. 27-35.
16. Юсупов Р.М, Шишкин В.М. О некоторых противоречиях в решении проблем информационной безопасности // Труды СПИИРАН. Вып. 6. — СПб.: Наука, 2008. — С. 11-23.
17. Махов С.А. Математическое моделирование мировой динамики и устойчивого развития на примере модели Форрестера, Препринты ИПМ, 2005, 006.
18. Фесечко А.И. Оптимизация защитных мероприятий по безопасности жизнедеятельности людей. Надёжность и качество-2011: труды Международного симпозиума: в 2 т./ под ред. Н.К.Юркова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. – 2 т. – С.30-31.
19. Шишкин В.М. Степенное распределение и управление рисками критических систем // Проблемы управления рисками и безопасностью: Труды Института системного анализа Российской академии наук. - 2007. - Т. 31. - М.: КомКнига, 2007. - С. 39-59.
20. Шишкин В.М. Показатели надёжности и безопасности: возможности нелинейного перехода. Надёжность и качество -2011: труды Международного симпозиума: в 2 т./ под ред. Н.К.Юркова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. – 1 т. – С.100-102.
21. Кузнецов И.В., Малинецкий Г.Г., Подлазов А.В. Научная основа междисциплинарного исследования бедствий, катастроф и кризисов. Препринт / ИПМ РАН. - 2004 - № 47. - 11 с.
22. Александров В.В. Развивающиеся процессы и системы. Степенные законы // Информационные системы и технологии. - 2007. - № 1 (1). - С. 58-83.
23. Герман А.С. Антиглобалистский манифест // «Академия Тринитаризма». [Электронный ресурс] М., Эл. № 77-6567, публ.13857. - 2006. - URL: <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0230/002a/02301006.htm> (дата обращения 16.11.2014).
24. Щеглов А.Ю. Вопросы защиты информации. Без комментариев. [Электронный ресурс] / А. Ю. Щеглов; ЗАО «НПП «Информационные технологии в бизнесе». СПб.: 2001-2007. - 2006. - URL: <http://articles.security-bridge.com/articles/15/11864> (дата обращения 16.11.2014).
25. Шишкин В.М. Эффективность, оптимальность и устойчивые пропорции затрат на безопасность при нелинейности меры риска // Надежность и качество - 2012: Труды Международного симпозиума: в 2 т. / под ред. Н.К.Юркова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – 1 т. - С. 123-127.
26. Шишкин В.М. Автоматизированная система риск-анализа в эпидемиологии и терапии социально-значимых заболеваний на базе технологии CUDA // Тезисы докладов IV Всероссийской конференции «Математическое моделирование и вычислительно-информационные технологии в междисциплинарных научных исследованиях» (Иркутск (Россия), 30 июня – 4 июля 2014 г.). – Иркутск: РИО ИДСТУ СО РАН, 2014. – С. 74.
27. Шишкин В.М. Моделирование динамики информационной борьбы // Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 19 июня 2014 г.) / М-во внутр. дел Респ. Беларусь, учреждение образования «Акад. М-ва внутр. дел Респ. Беларусь». – Минск: Акад. МВД, 2014.
28. Шишкин В.М. Нелинейные эффекты в оценке затрат на обеспечение безопасности критически важных объектов // Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 19 июня 2014 г.) / М-во внутр. дел Респ. Беларусь, учреждение образования «Акад. М-ва внутр. дел Респ. Беларусь». – Минск: Акад. МВД, 2014.
29. Шишкин В.М. Социально-экономическое развитие в контексте национальной безопасности и научно-технического развития. Динамическая модель. // Анализ, моделирование, управление, развитие экономических систем: сборник научных трудов VIII Международной школы-симпозиума АМУР-2014, Севастополь, 12-21 сентября

- 2014 / Под ред. доцента А.В. Сигала. – Симферополь: ТНУ им. В.И. Вернадского, 2014. – С. 359-364.
30. Шишкин В.М., Абросимов И.К. Динамическое моделирование в исследовании проблем информационной безопасности в условиях противоборства // XIV Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2014)», Санкт-Петербург, 29-31 октября 2014 г.: Материалы конференции \ СПОИСУ. – СПб, 2014. С. 171.
 31. Шишкин В.М., Савков С.В. Использование знаний экспертов в условиях структурной и метрической неопределенности в риск-анализе // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'14». Научное издание в 4-х томах. – М.: Физматлит, 2014. – Т. 1. С. 394-399.
 32. Шишкин В.М., Савков С.В. Снижение неопределенности при принятии решений в управлении информационными рисками // Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2014). – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», 2014. – С. 149-153.
 33. Шишкин В.М., Абросимов И.К. Динамические модели информационного противоборства // Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2014). – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», 2014. – С. 648-654.
 34. Шишкин В.М. Представление и использование системы неполных гетерогенных знаний для анализа процессов рискообразования // Технологии информатизации профессиональной деятельности (в науке, образовании и промышленности) – ТИПД-2014: Труды IV Всероссийской научной конференции с международным участием. Том 1. Ижевск, 5-8 ноября 2014 г. / Под ред. С.Г.Маслова – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2014. – С. 78.
 35. Шишкин В.М., Савков С.В., Кувшинов И.В. Методика гомогенизации экспертной информации в риск-анализе // // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды Международной научной школы МА БР – 2014 (Санкт-Петербург, 18-20 ноября, 2014 г.) / ГОУ ВПО «СПбГУАП». - СПб., 2014. – С. 94-98.