

**ГУСЕВ АНДРЕЙ ЛЕОНИДОВИЧ**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ  
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ КАСКАДНОМ УПРАВЛЕНИИ  
РИСКАМИ ОДНОЙ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ  
ОДНОВРЕМЕННО УПРАВЛЯЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Специальность

05.13.01– Системный анализ, управление и обработка  
информации (технические и медицинские системы)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Курск – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» и Федеральном бюджетном учреждении науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор  
Ясницкий Леонид Нахимович

Официальные оппоненты: Орлов Александр Иванович,  
доктор технических наук,  
доктор экономических наук, профессор,  
Московский государственный  
технический университет им. Н.Э.Баумана,  
профессор кафедры экономики и  
организации производства

Лялин Вадим Евгеньевич,  
доктор технических наук,  
доктор экономических наук, профессор,  
заслуженный изобретатель Российской Федерации,  
Ижевский государственный технический  
университет им. М.Т.Калашникова,  
декан факультета информатики  
и вычислительной техники

Горбаченко Владимир Иванович,  
доктор технических наук, профессор,  
Пензенский государственный университет,  
заведующий кафедрой  
компьютерных технологий

Ведущая организация: Вятский государственный университет, г.Киров

Защита диссертации состоится 28 марта 2014 года в 15-00 часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета Д 212.105.03, созданного на базе Юго-Западного государственного университета, по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного государственного университета и на сайте <http://www.swsu.ru/ds>

Автореферат разослан 28.01.2014 г

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Милостная Наталья Анатольевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** В последние годы в Российской Федерации в практику управляющих организаций внедряется вид деятельности, связанный с анализом рисков, состоящий из трех компонентов: оценка риска, управление риском, информирование о риске (Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, С.Л. Авалиани и пр.). За рубежом, например, согласно определению Национальной академии наук США, оценка риска для здоровья – это использование доступной научной информации и научно обоснованных прогнозов для оценки опасности воздействия вредных факторов окружающей среды и условий на здоровье человека. Однако до настоящего времени концептуальные вопросы управления риском полностью не решены, в том числе из-за недостаточно совершенного математического обеспечения каскадного управления риском.

Управление риском является логическим продолжением оценки риска и направлено на обоснование наилучших в данной ситуации решений по его устранению или минимизации, а также динамическому контролю (мониторингу) экспозиций и рисков, оценке эффективности и корректировке мероприятий.

Существующие методические подходы к анализу риска не позволяют в полной мере решить задачи обоснования ряда управленческих решений. Например, в сфере организации деятельности управляющих организаций важным является обоснование критериальных и целевых уровней индикативных показателей, прогнозирование результативности и эффективности деятельности с использованием критериев риска (Н.В. Шестопалов, Л.М. Симкалова, О.В. Митрохин).

Для решения задач такого рода необходима, с одной стороны, концептуальная база и теоретические основы каскадного управления рисками, с другой – комплекс методов и алгоритмов, базирующихся на существующих информационных массивах. К теоретическим основам, методам и алгоритмам, до настоящего времени в анализе риска практически не использовавшимся, относятся планы непрерывного контроля (Я.Б. Шор, А.А. Пахомов, Ю.К. Беляев, В.С. Мхитарян) и нейросетевое моделирование (А.И. Галушкин, А.В. Чечкин, А.Н. Горбань, В.И. Горбаченко, А.И. Иванов, В.В. Борисов, Л.С. Куравский, Г.М. Алакоз, С.Д. Кулик, С. Осовский, С. Хайкин).

Сложность такого управления обуславливается его каскадным характером, а также наличием нескольких независимых друг от друга одновременно управляющих организаций, а следовательно, для управляющей организации затруднено определение целевых показателей непосредственного и конечного результатов управления. Например, несколько независимых друг от друга управляющих организаций в рамках своих компетенций воздействуют на объекты первого уровня, которые, в свою очередь, воздействует на объекты второго уровня и т.д. Также проблематичность заключается в том, что механизм воздействия на различные объекты первого уровня может быть разным для одной и той же управляющей организации. Задача состоит ещё и в том, чтобы из совокупности возможных управляющих действий выбрать одно управляющее действие в за-

висимости от объекта управления или от территории, на которой осуществляется управление для достижения целевого показателя.

Такого рода задачи управления возникают в энергетических, медицинских системах и в других сферах человеческой деятельности, однако однозначного алгоритма их решения в настоящее время пока не существует. Это определяет **актуальность проблемы** – разработки теоретических основ, комплекса методов и алгоритмов обоснования принятия решений управляющей организацией на объекте или территории при каскадном управлении рисками одной из нескольких одновременно управляющих организаций.

**Научный аспект** сформулированной проблемы заключается в развитии теоретических основ управления методами непрерывного статистического контроля и процедур групповых проверок.

**Практическая часть** проблемы включает в себя алгоритмизацию, разработку специального программного обеспечения и его практическое применение для поддержки принятия решений управляющей организации.

**Целью диссертационной работы** является разработка теоретических основ, методов и алгоритмов для обоснования наиболее адекватного принятия решения одной из нескольких независимых одновременно управляющих организаций при каскадном управлении рисками. Алгоритмизация нахождения целевых показателей и алгоритмизация выбора на объекте или территории управляющей организацией действия из возможной совокупности управляющих действий, направленных на достижение целевого показателя.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие **основные задачи**:

1. Формулировка концептуальных положений при каскадном управлении рисками.

2. Создание методологии моделирования управления при каскадном управлении рисками.

3. Разработка и применение теоретических основ, комплекса методов и алгоритмов нахождения целевых показателей непосредственного и конечного результатов управления рисками, а также их прогнозирование.

4. Определение порогов индикативных показателей, классификация территорий по уровню индикативных показателей и определение приоритетных объектов надзора на территориях с индикативными показателями, которые превышают порог.

5. Алгоритмизация методов подготовки информационных массивов для модели управления и построение алгоритмов проверки точности полученных результатов.

6. Формулировка критериев оценки результативности действий и эффективности управляющей организации.

7. Расчет коэффициента качества выполнения государственного задания управляющей организацией.

8. Разработка методологии принятия обоснованного решения и выполнение адекватного действия управляющей организацией на основе моделирования управления.

**Область исследования.** Каскадное управление в условиях, когда управление одновременно осуществляется несколькими независимыми управляющими организациями.

**Объект исследования.** Показатели непосредственного и конечного результата управления рисками.

**Предмет исследования.** Причинно-следственные связи между действиями управляющей организации и риском при каскадном управлении при наличии нескольких управляющих организаций.

**Методы исследования.** Для решения поставленных в работе задач использованы классические методы теории вероятностей и математической статистики, методология управления, теория однородных цепей Маркова, теория планов непрерывного статистического контроля, теория информации, методы процедур групповых проверок, теория и методы нейросетевого моделирования, теория рекуррентных событий.

**Научная новизна результатов работы.**

1. Сформулированы концептуальные положения, на основании которых предложена каскадная модель управления рисками, позволяющая выделить управляемую долю показателя непосредственного и конечного результата одной из нескольких одновременно управляющих организаций, определить целевые и допустимые показатели непосредственного и конечного результата.

2. Разработан метод матричного нелинейного прогнозирования, на основе сформулированного автором принципа наименьшей изменчивости матрицы динамических коэффициентов с течением времени. Этот метод позволяет осуществлять выбор лучшей модели управления рисками, в некотором наперед заданном смысле, управляющей организацией. Метод ориентирован на прогноз непосредственного и конечного результата управляющих действий одной из нескольких одновременно управляющих организаций при каскадном управлении рисками. Метод позволяет определять процент управляемого фактора (факторов), на который воздействует управляющий фактор (факторы).

3. Разработаны методы предобработки информации: сжатие-расширение информационного пространства и функциональная предобработка, применение которых позволяет строить нейросетевые модели, предназначенные для прогнозирования непосредственного и конечного результата управляющих действий одной из нескольких одновременно управляющих организаций при каскадном управлении рисками в особо сложных случаях управления, когда не применим метод матричного нелинейного прогнозирования.

4. Созданы теоретические основы непрерывного статистического контроля с памятью. По сравнению с классическим статистическим непрерывным контролем, непрерывный контроль с памятью обуславливает более раннюю реакцию управляющей организации на увеличение риска. Получены в виде формул характеристики для правил остановки непрерывного контроля, как для класси-

ческого случая (ранее неизвестные), так и для случая контроля с памятью. В частности, получены формулы для математического ожидания числа проконтролированных объектов до остановки контроля и дисперсии для широкого класса правил остановки контроля.

5. Сформулировано понятие параллельного непрерывного контроля для установления причинно-следственных взаимосвязей управляющих и управляемых факторов. Метод параллельного непрерывного контроля позволяет устанавливать взаимосвязь в условиях, когда на управляемый фактор воздействуют несколько управляющих факторов, число которых часто бывает неизвестно.

6. Предложена авторская процедура групповых проверок и для неё получен оптимальный объем группы в виде формулы; разработаны теоретические основы оценивания по результатам применения процедур групповых проверок. Получены формулы, позволяющие делать статистически оценки вероятностных параметров.

7. Созданы алгоритмы проверки точности построения статистических оценок, которые позволяют достигать наперед заданной точности результатов. В случае невозможности достижения наперед заданной точности по причинам ограниченности временного или финансового ресурса, алгоритмы определяют достигнутую точность.

8. Разработан комплекс: теоретические основы, методы и алгоритмы для обоснования принятия решений одной из нескольких независимых одновременно управляющих организации при каскадном управлении рисками.

С помощью этого комплекса решены следующие задачи:

- определение критических порогов для управляемых факторов;
- определение целевых показателей непосредственного и конечного результата для управляющей организации;
- классификация территорий (или других единиц измерения, например, объектов) по уровню управляемых факторов;
- определение приоритетных объектов управления на территориях при каскадном управлении рисками;
- расчет коэффициента результативности действий управляющей организации;
- расчет коэффициента качества выполнения государственного задания управляющей организацией;
- определение управляемых уровней риска управляющей организацией;
- оценка эффективности деятельности управляющей организации.

#### **Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Концепция управления и каскадные модели управления рисками при наличии нескольких одновременно управляющих организаций.

2. Метод матричного нелинейного прогнозирования, устанавливающий причинно-следственные связи между управляющими и управляемыми факторами во времени, как метод моделирования управления рисками. Метод определяет процент управляемого фактора (факторов), на который воздействует управляющий фактор (факторы).

3. Нейросетевые модели управления рисками с предобработкой информации: сжатием и расширением информационного пространства и функциональной предобработкой.

4. Теоретические основы непрерывного статистического контроля с памятью.

5. Метод параллельного непрерывного статистического контроля.

6. Теоретические основы оценивания по результатам проведения процедур групповых проверок и авторская процедура групповых проверок.

7. Алгоритмы проверки точности полученных результатов в ходе решения задач управления рисками.

**Достоверность результатов** диссертационной работы подтверждается сравнением теоретических результатов с экспериментальными результатами. Также достоверность подтверждена детальным обоснованием выдвинутых научных гипотез, получением основанных на них научных результатов с использованием строгого математического аппарата, проверкой разработанных методов, а также положительными результатами практического внедрения. Теоретические положения, выведенные в работе, обосновываются строгостью исходных посылок и корректным применением использованного математического аппарата при выводе аналитических выражений. Достоверность расчетных результатов обеспечена их хорошей согласованностью с данными экспертных оценок, а также выбором надёжных критериев при построении алгоритмов обработки информации. Апробация основных результатов работы на научных конференциях и успешное внедрение в практику управляющих организаций позволяют сделать вывод об адекватности разработанных методов и алгоритмов.

**Практическая ценность** подтверждается разработанными методами, реализованными в программных продуктах для ЭВМ: «Расчет порогов для показателей здоровья и их использование при классификации территорий с массовой неинфекционной заболеваемостью» и «Расчет целевых показателей непосредственного и конечного результатов для управляющей организации на территориях с массовыми неинфекционными заболеваниями» (свидетельства о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013618581 и № 2013618580).

Результаты, приведенные в настоящей работе, могут использоваться любой из нескольких одновременно управляющих организации как при каскадном управлении рисками, так и при любом другом управлении.

**Теоретическая значимость работы** заключается в развитии теории, методов и алгоритмов принятия решений при каскадном управлении одной из нескольких независимых одновременно управляющих организаций.

Непрерывный контроль с памятью и параллельный непрерывный контроль расширяют сферу применения непрерывного контроля, например, устанавливают причинно-следственные взаимосвязи между управляющими и управляемыми факторами.

Метод отбора характерных наблюдений и метод сжатия и расширения информационного пространства применимы для любой модели управления.

Широко применимы способы оценки точности полученных результатов, метод восстановления данных и принципы организации каскадного управления, т.к. не имеют существенных ограничений.

**Реализация результатов работы.** Теоретические и практические результаты, полученные в настоящей работе, явились основой для разработки методических рекомендаций «Определение порогов массовой неинфекционной заболеваемости и их использование в планировании надзорных мероприятий» (внедрены Управлением Роспотребнадзора в Пермском крае, приказ №105 от 11.06.2010г.) и методических рекомендаций «Обоснование целевых и индикативных показателей для планирования и корректировки ВЦП в условиях бюджетирования, ориентированного на результат» (внедрены Управлением Роспотребнадзора в Пермском крае, приказ №105 от 11.06.2010 г.).

Практические результаты, полученные в настоящей работе, явились частью разработки ведомственных целевых программ «Гигиена и здоровье» и «Социально-гигиенический мониторинг».

Результаты диссертационной работы были внедрены:

- Управлением Роспотребнадзора по Алтайскому краю (справка о внедрении прилагается) для планирования контрольно-надзорной деятельности;
- Управлением Роспотребнадзора по Пермскому краю (справка о внедрении прилагается) для управления рисками здоровью населения;
- Управлением Роспотребнадзора по Свердловской области (акт внедрения прилагается) для информационно-аналитического обеспечения социально-гигиенического мониторинга и управления рисками здоровью населения.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации», а именно п. 2 – «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» в части постановки задачи, разработки способов обработки статистических данных Роспотребнадзора, алгоритмизации принятия решений по выбору действия управляющей организацией, п.4 – «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» в частности, разработан метод непрерывного статистического контроля с памятью в задачах управления для поддержки принятия решений об остановке непрерывного контроля и выработке адекватных управляющих воздействий, выполнено развитие метода нейросетевого моделирования – предложен метод функциональной предобработки входных сигналов нейронной сети, п. 5 – «Разработка специального математического и программного обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» в части разработки специального математического и программного обеспечения для обработки и системного анализа статистической информации Роспотребнадзора, принятии на этой основе решений об эффективных действиях управляющей организации.

**Апробация работы.** Основные теоретические положения и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Между-



народных, Всероссийских и региональных конференциях и симпозиумах, прошедших в период 1982-2013 гг.: на научно-технической конференции «Применение случайного поиска» (Кемерово, 1982), на Всесоюзной научно-технической конференции «Применение статистических методов в производстве и управлении» (Пермь, 1984), на научно-технической конференции «Стандартизация контроля и надежности промышленной продукции» (Горький, 1989), на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Научные основы и медико-профилактические технологии обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения» (Пермь, 2009), на IV Международной научно-технической конференции «Аналитические и числовые методы моделирования естественнонаучных и социальных проблем» (Пенза, 2009), на научно-практической конференции с международным участием «Гигиенические и медико-профилактические технологии управления рисками здоровью населения в промышленно развитых регионах» (Пермь, 2010), на второй научно-практической конференции с международным участием «Гигиенические и медико-профилактические технологии управления рисками здоровью населения» (Пермь, 2011), на Пятой Всероссийской конференции «Искусственный интеллект: философия, методология, инновации» (Москва, 2011), на X всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение» (Москва, 2012), на XVI международная научно-техническая конференция «Медико-экологические информационные технологии» (Курск, 2013). На научных семинарах и конференциях в Пермском государственном национальном исследовательском университете и Пермском педагогическом университете.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 48 научных работ, включая 2 монографии, 31 статью, 13 публикаций тезисов докладов.

**Личный вклад соискателя.** Все выносимые на защиту научные положения разработаны соискателем лично. В научных работах по теме диссертации, опубликованных в соавторстве, в работах [7, 8, 11, 33, 36, 39, 40, 41, 42, 43 и 44] принадлежит вывод всех приведенных формул и формулировка основополагающих принципов выбора модели управления и отбора наблюдений для выбранной модели, а также принцип выявления целесообразных действий управляющих организаций и определение управляющей составляющей показателя непосредственного и конечного результата управления; в работах [15 и 45] – идея и принципы функциональной предобработки данных. В работе [20] автору принадлежит модель контроля; в работах [29 и 30] – принципы отбора наблюдений и выбора модели управления. В работах [47 и 48] автору принадлежит вывод формул, алгоритмизация расчетов и программирование.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка использованной литературы из 156 наименований и двух приложений. Работа изложена на 307 страницах машинописного текста, содержит 17 таблиц и 56 рисунков.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, дан обзор ключевых работ, не принадлежащих

автору диссертации, по теоретическим и практическим вопросам, лежащим в русле диссертационной тематики.

Сложность управления рисками определяется каскадом управления и наличием нескольких одновременно управляющих организаций. Например, целью управления рисками здоровью населения является снижение уровня заболеваемости населения, перераспределение смертности населения на более зрелый возраст и увеличение продолжительности жизни населения. Всякую вероятность заболеть и умереть для человека можно рассматривать как сумму двух вероятностей. Во-первых, естественную вероятность заболеть или умереть, а во-вторых, вероятность, связанную с неблагоприятными условиями среды обитания (социальными, физическими, экологическими и т.д.). Вторая вероятность существенно зависит от качества среды обитания человека, на улучшение которой так или иначе могут воздействовать управляющие организации. Здесь нужно учитывать тот факт, что на вероятность заболеть или умереть воздействует целый ряд управляющих организаций. Механизм воздействия может быть описан следующим образом. Выполняя свои надзорные функции, управляющая организация штрафными санкциями и информированием населения воздействует на объекты надзора – предприятия, нарушающие санитарно-эпидемиологическое законодательство. Воздействие осуществляется с целью уменьшения нарушений санитарно-эпидемиологического законодательства, а следовательно, улучшения качества среды обитания человека. Улучшение качества среды обитания, в свою очередь, снижает уровень заболеваемости населения, и как следствие перераспределяет смертность населения на более зрелый возраст с увеличением продолжительности жизни человека. Для управления рисками, то есть для снижения вероятности заболеть или умереть, связанной с неблагоприятными условиями среды обитания, необходимо: выделить вероятность, управляемую организацией, установить целевые показатели непосредственного (показатели качества среды обитания) и конечного результатов (показатели здоровья населения) для этой организации. Кроме того, необходимо классифицировать территории на критические, предкритические, неблагоприятные и безопасные по каждой нозологической форме заболевания, классу болезней и уровню смертности от той или иной причины для эффективности предпринимаемых действий управляющей организации. Также необходимо алгоритмизировать нахождение критического уровня (порога) по каждому виду заболевания для установления территорий с массовыми неинфекционными заболеваниями и установления возможных источников массового неинфекционного заболевания (приоритетных объектов надзора) и в силу своей компетенции воздействовать на них, выбрав наиболее адекватное действие из нескольких возможных.

**Первая глава.** В первом разделе дана общая постановка задачи при каскадном управлении рисками при наличии нескольких управляющих организаций.

В общем случае каскадное управление рисками при наличии нескольких управляющих организаций может быть представлено схемой приведенной на

рисунке 1. Причем схема каскадного управления при наличии нескольких управляющих организаций может быть аналогична в субъектах Российской Федерации или на территориях субъекта Российской Федерации. То есть имеется некоторая сравнимая повторяемость каскадного управления рисками.

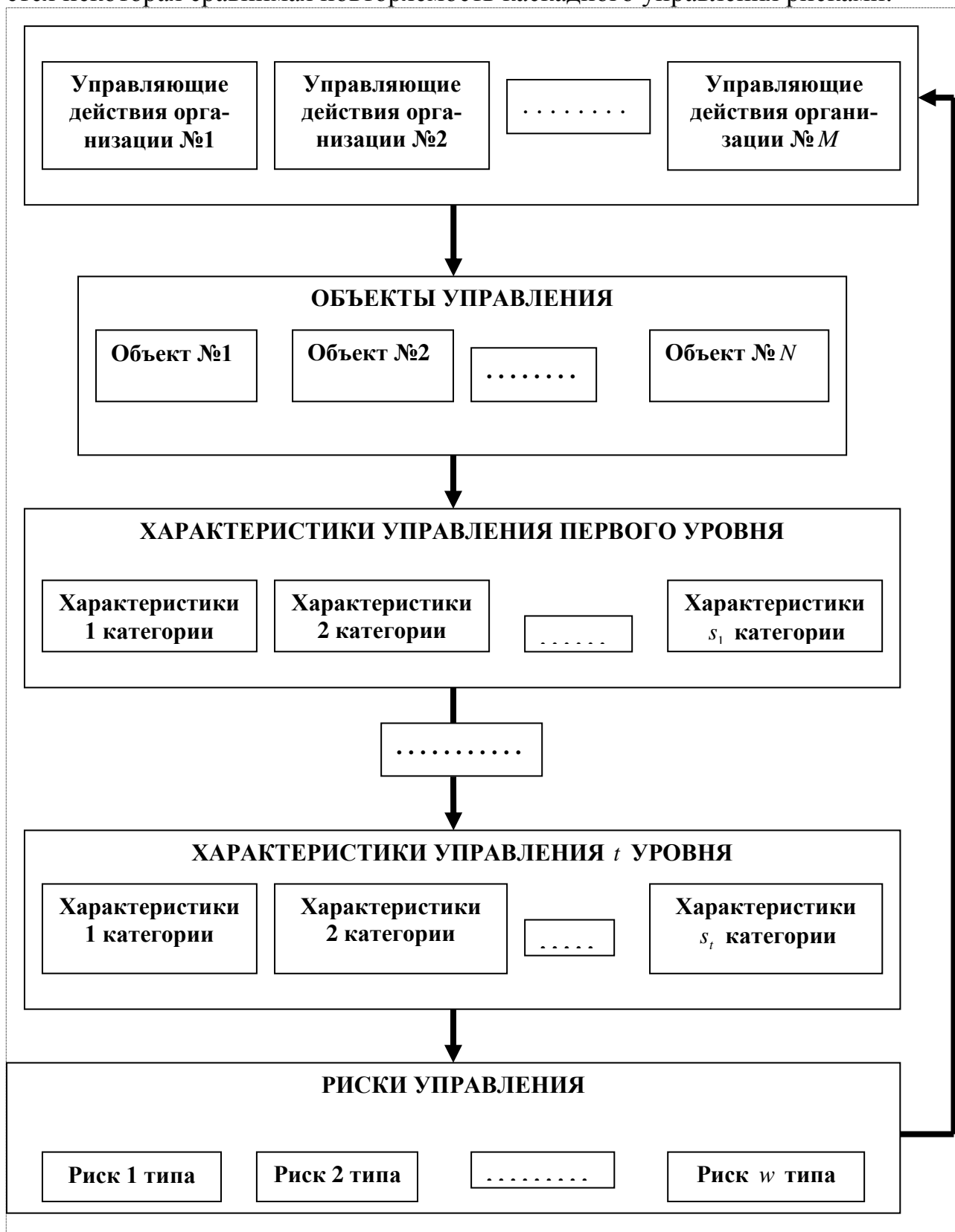


Рис. 1. Схема каскадного управления рисками при наличии нескольких управляющих организаций

Заметим, что если число управляющих организаций и число объектов на территориях может быть разным, то число характеристик и рисков всегда одинаковое.

Описание типичной предметной области при каскадном управлении рисками рассмотрим на примере Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (кроме Роспотребнадзора более десятка управляющих организаций воздействуют на риски здоровью).

Для обоснования тех или иных решений Роспотребнадзора существует и развивается нормативно-методическая база, включающая такой базовый документ как «Концепция научного обеспечения деятельности органов и организаций Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека до 2015 года».

К основным целям, определенным концепцией, относятся: совершенствование научно-методического обеспечения деятельности Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, ее территориальных органов и организаций; внедрение системы управления, ориентированной на результат; разработка критериев оценки деятельности.

Особенности управления при каскадном управлении риском при наличии нескольких управляющих организаций рассмотрены на примере управляющей организации Роспотребнадзор в третьем параграфе первой главы, схема управления отражена на рисунке 2. Здесь необходимо учитывать, что управляющее действие в системе Роспотребнадзора имеет лаг воздействия от 0 до 4 временных периодов (например, лет). Например, лаг воздействия может составлять 1 и 2 года одновременно.



Рис. 2. Схема каскадного управления рисками в системе Роспотребнадзора

В блок надзора и санкций входят показатели в перерасчете на один объект каждой группы предприятий (промышленные предприятия, коммунальные предприятия, пищевые предприятия, детские учреждения и транспорт): - количество наложенных штрафов; - количество взысканных штрафов; - число постановлений; - число остановок эксплуатации; - число предупреждений; а также такие обобщенные показатели: - число обследований плановых на объект; - число обследований внеплановых на объект; - число обследований с лабораторными и инструментальными методами на объект; - число выданных предписаний на объект всего; - число выданных предписаний об устранении выявленных нарушений санитарного законодательства; - число вынесенных постановлений о направлении в правоохранительные органы материалов для возбуждения уголовных дел; - число протоколов об административном правонарушении; - общая сумма наложенных административных штрафов; - общая сумма уплаченных, взысканных административных штрафов; и некоторые другие.

К контролируемым показателям качества среды обитания относятся: доля проб воды, не отвечающих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим или микробиологическим показателям, а также доли проб продовольствия, воздуха, земли и т.д. по этим же показателям.

Показатели заболеваемости измеряются в промилле по возрастным группам: «все», «взрослые», «подростки» и «дети». Учет ведется как по классам заболеваний, так и по отдельным нозологическим формам.

Показатели смертности измеряются в промилле по возрастным группам: «все», «взрослые», «подростки» и «дети». Учет ведется по 17 причинам смертности.

**Вторая глава** содержит теоретические основы метода нелинейного матричного прогнозирования (разработанные автором), который представляет собой последовательность действий построения многомерных нелинейных моделей управления по традиционным принципам построения регрессионных уравнений. Здесь введено понятие матрицы динамических коэффициентов, как важнейшей составляющей модели управления; даны определения введенных автором: информационного расстояния между матрицами динамических коэффициентов, амплитудного коридора матрицы динамических коэффициентов, наименьшей изменчивости матрицы динамических коэффициентов с течением времени. Метод позволяет определить процент управляемого фактора (управляемых факторов), на который воздействуют управляющие факторы, и прогнозировать управляемые факторы (управляемый фактор) при изменении управляющих факторов на области их определения.

В результате применения метода по  $k$  наблюдениям ( $k > n, m$ ) могут быть получены несколько многомерных нелинейных моделей, что обусловлено фактом по групповой коррелированности управляющих факторов. Многомерные нелинейные модели имеют общий вид:

$$A(t)F(x(t))=y(t), \quad (1)$$

где  $t$  – время (исчисляется в днях, неделях, месяцах или годах);  $A(t)$  – матрица динамических коэффициентов (матрица размерности  $n$  на  $m$ , характеризующая условия управления);  $F(x(t))$  – нелинейная функция от  $x(t)$  (вектор-столбец размерности  $m$ ) от вектора управляющих факторов  $x(t)$ ;  $y(t)$  – вектор управляемых факторов (вектор-столбец размерности  $n$ ).

В этом же разделе автором введены определения.

Пусть имеются две матрицы динамических коэффициентов  $B$  и  $C$  одинаковой размерности  $n$  на  $m$ .

**Определение 1.** Расстоянием между соответствующими элементами матрицы назовем величину:

$$r_{i,j} = \left| \frac{b_{i,j} - c_{i,j}}{\min(b_{i,j}; c_{i,j})} \right|, \text{ если } \min(b_{i,j}; c_{i,j}) \neq 0 \text{ и } r_{i,j} = \max(b_{i,j}; c_{i,j}) \text{ в противном случае.}$$

**Определение 2.** Процентным расстоянием между матрицами динамических коэффициентов  $B$  и  $C$  одинаковой размерности  $n$  на  $m$  назовем величину:

$$R_{B,C} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{i,j}. \quad (2)$$

Обозначим  $I_{B,C}$  - информационное расстояние между матрицами  $B$  и  $C$ .

**Определение 3.** Информационное расстояние между матрицами  $B$  и  $C$  - это количество процентного расстояния между матрицами  $B$  и  $C$ , приходящегося на один элемент матрицы:

$$I_{B,C} = \frac{R_{B,C}}{mn}. \quad (3)$$

Пусть за один временной период регистрируется  $k$  наблюдений и количество таких периодов  $N$ . Теперь рассмотрим последовательность информационных расстояний для матриц динамических коэффициентов модели, построенную по  $k, 2k, \dots, Nk$  наблюдениям. То есть, по  $k$  наблюдениям строится матрица  $A_k$ , по  $2k$  наблюдениям была построена матрица  $A_{2k}$  и так далее. Заметим, что получили взаимно однозначное соответствие между матрицами и наблюдениями за временной период. Поэтому информационные расстояния между матрицами  $A_l$  и  $A_{l+1}$ , где  $l = k, 2k, \dots, (N-1)k$  будем обозначать  $I_{l,l+1}$ . По сути, последовательность информационных расстояний  $I_{k,2k}, I_{2k,3k}, \dots, I_{(N-1)k, Nk}$  есть реализация случайной величины с неизвестными параметрами распределения. Для простоты информационные расстояния будем обозначать  $I_{2k}, I_{3k}, \dots, I_{Nk}$ . Заметим, что индекс информационного расстояния взаимно однозначен с номером временного периода. Оценим параметры неизвестного распределения по следующим формулам:

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=2k}^{Nk} I_i}{N-1}, \quad (4)$$

$$\sigma_I = \sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=2k}^{Nk} (I_i - \bar{I})^2}. \quad (5)$$

**Определение 4.** Величину  $Acor = \frac{\sigma_I}{\bar{I}}$  назовем амплитудным коридором

изменения матрицы динамических коэффициентов.

Вообще говоря, информационное расстояние может быть заменено какой-либо другой метрикой (например, наибольшей процентной разницей коэффициентов) и тогда амплитудный коридор принимает другое выражение, т.к. меняется формула (3).

Очевидно, что чем меньше амплитудный коридор, тем меньше изменчивость матрицы динамических коэффициентов с течением времени. Следовательно, меньшая изменчивость модели управления. Модель с наименьшим амплитудным коридором изменения матрицы динамических коэффициентов назовем миниампликорной моделью.

**Определение 5.** Миниампликорной моделью управления назовем модель, имеющую матрицу динамических коэффициентов с наименьшей изменчивостью с течением времени, т.е. с минимальным значением  $Acor$ .

Так как метод нелинейного матричного прогнозирования дает возможность построить целый набор моделей управления, удовлетворяющих наперед заданным условиям, то из всех моделей выбирается лучшая в некотором смысле модель управления, а именно та, которая удовлетворяет условию меньшей изменчивости матрицы динамических коэффициентов с течением времени. Этот метод был назван МНМП – «Метод нелинейного матричного прогнозирования» и реализован в виде программного продукта «Расчет целевых показателей непосредственного и конечного результатов для управляющей организации на территориях с массовыми неинфекционными заболеваниями».

На рисунке 3 изображено рабочее окно программы, где отражены все параметры программы, которыми может управлять исследователь. Можно задавать максимально допустимые коэффициенты корреляции между управляющими факторами. Можно задавать минимально допустимый коэффициент корреляции между управляющим фактором и фактором управления.

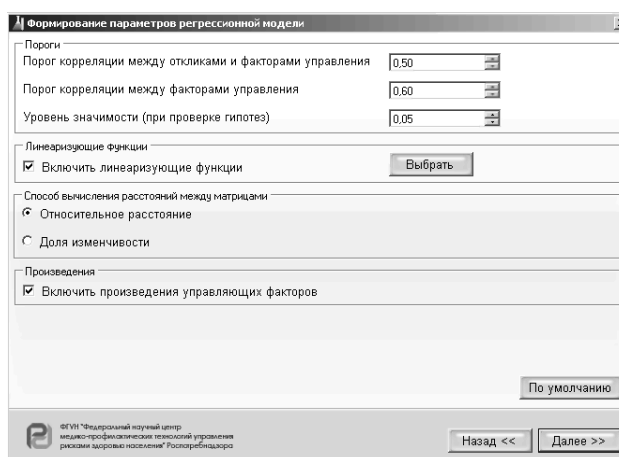


Рис. 3. Выбор параметров (рабочее окно программы)

Можно изменять уровень значимости моделей (для задач управления рисками здоровью это не рекомендуется). В программе также реализованы два способа вычисления расстояния между матрицами динамических коэффициентов. По желанию исследователя кроме факторов управления могут быть проанализированы их парные произведения. Также исследователь может использовать широкий набор линеаризующих функций, что позволяет наиболее адекватно строить модели управления в особо сложных случаях управления.

Программа позволяет делать прогнозы управляемых факторов на области определения управляющих факторов. Область определения указывает сама программа.

Далее приведен метод отбора характерных наблюдений, который базируется на идеях, заложенных в методе нелинейного матричного прогнозирования. Здесь используется понятие матрицы динамических коэффициентов, определения информационного расстояния между матрицами динамических коэффициентов и матрицы динамических коэффициентов, имеющих минимальный амплитудный коридор. Наблюдением называется совокупность управляющих и управляемых факторов, зафиксированных одновременно (в смысле воздействия управления) на конкретной территории.

В разделе также приведены результаты адаптации и применения метода нейросетевого моделирования для задач управления рисками.

Классический алгоритм построения нейросетевых моделей был модифицирован с целью его ориентации на работу с сильно зашумленными статистическими данными, характерными для статистической информации Роспотребнадзора. В частности, блок «Формирование примеров» был дополнен предложенным автором алгоритмам восстановления пропущенных данных, алгоритмом функциональной предобработки данных, алгоритмом отбора наблюдений, алгоритмом сжатия и расширения информационного пространства, что позволяет строить модель управления, когда метод нелинейного матричного прогнозирования не может быть реализован из-за традиционных ограничений, накладываемых на классические регрессионные уравнения. Однако метод нейросетевого моделирования, в отличие от метода нелинейного матричного прогнозирования, не позволяет определять долю управляемых факторов, на которую способны воздействовать управляющие факторы.

Метод нейросетевого моделирования управления в этом разделе рассмотрен на примерах (рисунки 4-7).

В вычислениях использован нейропакет «Нейросимулятор» со следующими алгоритмами обучения: упругого распространения; обратного распространения; Левенберга-Марквардта; сопряженных градиентов; генетический; Манхеттена; быстрого распространения. Нейропакет был модифицированный автором диссертации возможностями функциональной предобработки данных и функцией сжатия информационного пространства. Адекватность нейросетевых моделей проверялась на тестовых примерах, не участвовавших в обучении нейронных сетей.



На рисунке 4 представлены прогнозные зависимости, общей смертности населения некоторых городов в зависимости от величины штрафов, наложенных на промышленные предприятия, нарушающих законодательство о природопользовании. Жирной вертикальной чертой указан существующий уровень штрафов в данных городах.

Как видно из рисунка 4, а, нейросетевые прогнозы показывают, что увеличение штрафов промышленных предприятий в крупном промышленном центре с миллионным населением не приведет к заметному ее снижению, тогда как в городе с населением около пятидесяти тысяч человек (рисунок 4, б) это мероприятие может оказаться эффективным.

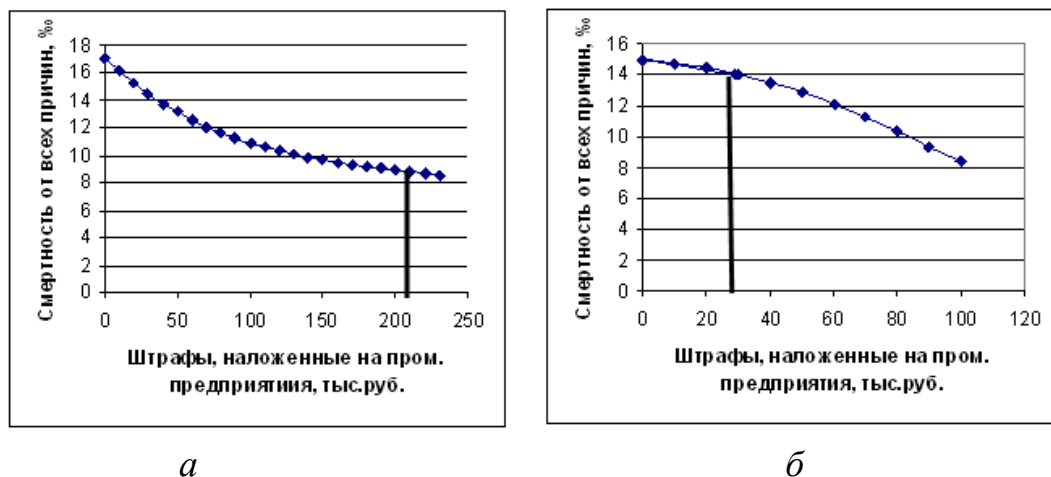


Рис. 4. Прогнозная зависимость смертности населения крупного промышленного центра с миллионным населением (а) и малого промышленного центра (б) от величины штрафов, наложенных и взысканных с промышленных предприятий

На рисунке 5 и рисунке 6 представлены аналогичные зависимости общей смертности населения в этих же городах от двух факторов – величины штрафов наложенных на промышленные и коммунальные предприятия. Как видно из рисунков, увеличение штрафов, наложенных на промышленные и коммунальные предприятия, в обоих городах может привести к заметному снижению общей смертности населения.

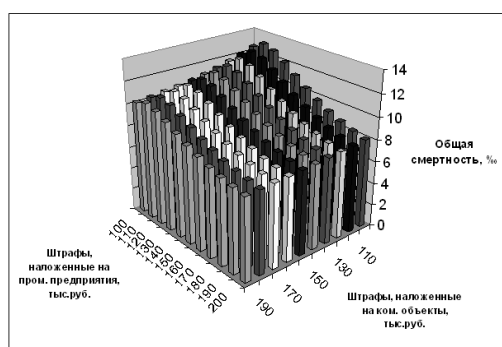


Рис. 5. Прогнозная зависимость смертности населения крупного промышленного центра от величины штрафов, наложенных на промышленные и коммунальные предприятия

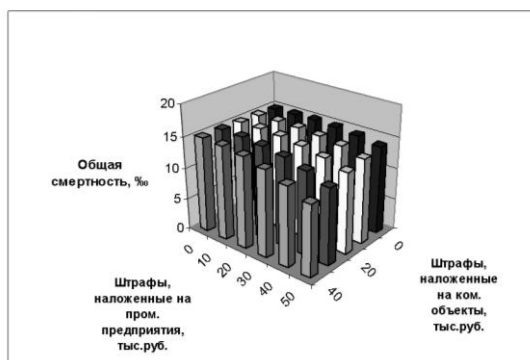


Рис. 6. Прогнозная зависимость смертности населения малого промышленного центра от величины штрафов, наложенных на промышленные и коммунальные предприятия

На рисунке 7 представлены примеры результатов прогноза смертности населения от новообразований в зависимости от доли пищевых предприятий наиболее неблагоприятной в гигиеническом отношении, т.е. предприятий 3-й группы, в двух городах с населением до ста тысяч человек: город №1 (рисунок 7, а) и город № 2 (рисунок 7, б). Как и ранее, жирной вертикальной чертой отмечено существующее в данный момент состояние в исследуемых городах.

Прогнозные кривые, приведенные на рисунке 7, тоже позволяют сделать интересные в практическом отношении выводы. Так, из рисунка видно, что если попытаться в обоих городах уменьшить долю неблагоприятных в гигиеническом отношении пищевых предприятий 3-й группы, например, на 1% (т.е. отклониться от вертикальной жирной черты влево по шкале абсцисс на 1%), то можно увидеть, что в городе № 1 (рис. 7, а), это мероприятие приведет к снижению смертности населения примерно на 4,6%, тогда как в городе № 2 (рисунок 7, б) данное мероприятие не вызовет каких-либо заметных изменений смертности населения.

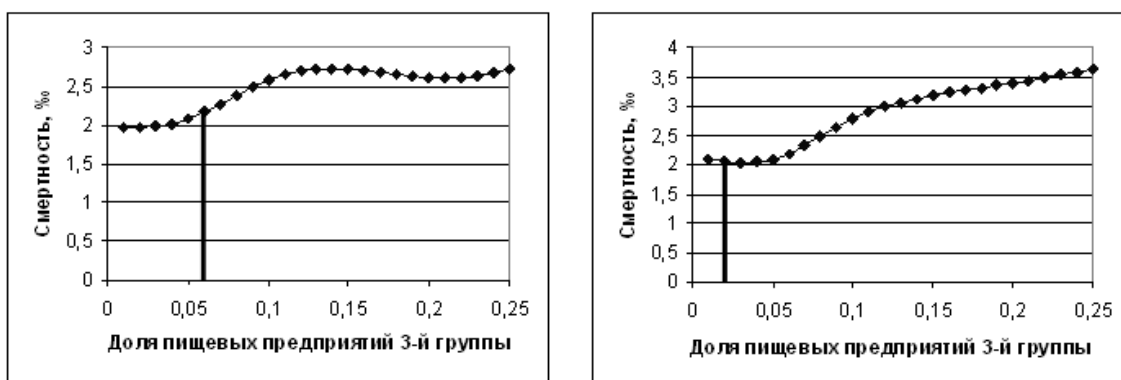


Рис. 7. Примеры прогноза смертности населения от новообразований в зависимости от доли пищевых предприятий 3-й группы для двух городов региона: города № 1 (а), и города № 2 (б)

Разработанные в диссертационной работе нейросетевые модели учитывают множество параметров, характеризующих специфику российских городов и населенных пунктов, а также специфику самого российского населения. Они при-

годны для разработки рекомендаций по организации деятельности Роспотребнадзора. В частности, как показано на рисунках 4-7, они могут быть использованы для выявления городов и населенных пунктов, в которых конкретные действия Роспотребнадзора будут эффективны и приведут к снижению смертности населения, а в каких городах эти действия не дадут желаемого эффекта.

**Третья глава** содержит разработанные автором диссертации теоретические основы и практические реализации непрерывного статистического контроля с памятью.

В общем случае планом непрерывного контроля потока объектов можно считать систему переключения четырех стадий произвольного плана контроля:

1) Сплошной контроль объектов, когда контролю подвергается каждый объект.

2) Выборочный контроль, когда каждый объект с вероятностью  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) подвергается контролю (в общем случае сплошной контроль может быть включен в выборочный контроль, как частный случай при  $\alpha=1$ ).

3) Правила остановки при сплошном и выборочном контроле для принятия решения.

4) Алгоритм принятия решения о продолжении или прекращении контроля, в том числе об изменении параметров контроля, например, переход от выборочного контроля к выборочному же контролю, но с другим значением  $\alpha$ . Здесь необходимо отметить следующее. Если число проконтролированных объектов до остановки по фиксированному правилу больше или равно математического ожидания числа проконтролированных объектов до остановки контроля, то контроль продолжают без принятия каких-либо мер (действий). В противном же случае, ситуация требует неотлагательного вмешательства – принятия каких-либо мер (действий).

Произвольный план непрерывного контроля может содержать только две или три стадии контроля из перечисленных стадий контроля.

Особое внимание уделяется контролю по альтернативному признаку. Это тот случай, когда каждый контролируемый объект может принадлежать только одному из двух классов, иными словами может быть классифицирован как годный или как дефектный объект. Обычно, полагают в этом случае, что каждый объект с вероятностью  $p$  является годным и с вероятностью  $q=1-p$  является дефектным. Отмечается, что математические методы непрерывно статистического контроля качества продукции, могут быть перенесены на сферу деятельности Роспотребнадзора для контроля за показателями заболеваемости и смертности населения. Однако для этого необходима модификация математического аппарата непрерывного статистического контроля, направленная на учет специфических особенностей этой предметной области. С этой целью вводится определение непрерывного контроля с памятью, в рамках контроля по альтернативному признаку. Классическую интерпретацию статистического непрерывного контроля можно изложить следующим образом. Имеется производственное нормальное качество – каждый произведенный объект удовлетворяет стандарту с вероятностью близкой к единице. При длительном производстве объектов со

временем происходит резкий или плавный сбой оборудования, что влечет за собой снижение производственного качества. При обнаружении снижения качества контроль останавливается, происходит переналадка оборудования или его замена, то есть восстанавливается качество производства, и контроль возобновляется вновь, без какого-либо учета произошедших событий.

При управлении рисками здоровью населения подобной замены оборудования невозможно произвести. Для учета этого обстоятельства в диссертационной работе предложен новый подход, названный непрерывным статистическим контролем с памятью. Его отличие от классического плана контроля состоит в том, что после остановки последний результат контроля запоминается, и возобновление контроля происходит не с нуля, а с учетом предшествующих событий. Дефектным объектом в этом случае называется территория, у которой какой-либо показатель (показатель качества среды обитания или показатель здоровья) превышает установленный порог этого показателя.

**Определение 6.** Непрерывным контролем с памятью будем называть такой непрерывный статистический контроль, у которого при наступлении остановки контроля по наперед заданному правилу запоминается последний шаг контроля. Формально считаем, что в рамках контроля по альтернативному признаку перед началом контроля наблюдался дефектный объект.

Далее излагается теория рекуррентных событий для правил остановки контроля. Даются теоретические основы (доказан ряд лемм и теорем), позволяющие сделать вывод о том, что остановка контроля по зафиксированному правилу может быть рассмотрена, как рекуррентное событие  $E$ . Доказано, что математическое ожидание проконтролированных объектов до наступления события  $E$  (наступления остановки контроля) и дисперсия равны:

$$\mu(E) = \frac{\sum_{j=0}^{l-1} c_j}{P(E)}, \quad (6)$$

$$\sigma^2(E) = \frac{2P(E) \left[ \sum_{j=0}^{l-1} j c_j - l_0 \sum_{j=0}^{l-1} c_j \right] + \sum_{j=0}^{l-1} c_j \left[ \sum_{j=0}^{l-1} c_j + P(E) \right]}{[P(E)]^2}, \quad (7)$$

где  $P(E)$  – вероятность появления события  $E$ ,  $l = \max_{1 \leq i \leq N} L(A_i)$  – максимальная длина состояний, соответствующих событию  $E$ , а  $c_j$  – вероятность перехода за  $j$  шагов из состояний  $A_1, A_2, \dots, A_N$  (состояний соответствующих наступлению события  $E$ ) в эти же состояния,  $l_0$  – минимально возможная длина контроля до наступления события  $E$ .

Здесь подразумевается, что на контроль поступает непрерывный поток объектов  $O_1, O_2, \dots$ , каждый из которых независимо друг от друга с вероятностью  $p_i (i = \overline{1, t})$  принадлежит к  $i$ -ому классу,  $\sum_{i=1}^t p_i = 1$ . Результатом контроля объекта является вывод о принадлежности объекта к одному из классов, назо-

вем его исходом испытания  $D_j (j = \overline{1, t})$ . Предполагаем, что результат контроля определяется однозначно, то есть каждый объект принадлежит строго одному из  $t$  классов и ошибок контроля не может быть. Одно испытание назовем шагом контроля. Будем полагать, что испытания могут продолжаться неограниченно. Таким образом, при непрерывном контроле наблюдается последовательность исходов  $D_{j_1}, \dots, D_{j_m}, \dots$

Состоянием длины  $n$  называем определенный набор символов  $\langle D_{j_1}, \dots, D_{j_n} \rangle$ , где все  $D_{j_i} (i = \overline{1, n})$  фиксированы. На шаге с номером  $m$  последовательности  $D_{j_1}, \dots, D_{j_m}, \dots$  появилось состояние  $\langle D_{j_1}, \dots, D_{j_n} \rangle$ , если  $D_{i_{m-n+1}} = D_{j_1}, \dots, D_{i_m} = D_{j_n}$ .

$E$  – некоторое событие, которому может соответствовать одно или несколько состояний. Будем говорить, что на  $m$ -ом месте последовательности  $D_{j_1}, \dots, D_{j_m}, \dots$  произошло событие  $E$ , если на  $m$ -ом шаге этой последовательности появилось одно из состояний, соответствующих событию  $E$ .

Также рассмотрены различные правила остановки контроля. Здесь доказан ряд важных теорем.

**Теорема 1.** Математическое ожидание числа проконтролированных объектов до остановки контроля при классическом контроле по правилу «из последних  $r$  объектов  $k$  дефектных объектов» при  $q$  – вероятности дефектности каждого объекта и  $p=1-q$  – вероятности годности каждого объекта выражается формулой:

$$\mu(E_1) = \frac{1 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i}^{r-k+i} q^i p^{j-i} C_{j-1}^{i-1}}{q^k \sum_{j=0}^{r-k} p^j C_{j+k-2}^j} . \quad (8)$$

**Теорема 2.** Математическое ожидание числа проконтролированных объектов до остановки контроля при контроле с памятью по правилу «из последних  $r$  объектов  $k$  дефектных объектов» при  $q$  – вероятности дефектности каждого объекта и  $p=1-q$  – вероятности годности каждого объекта выражается формулой:

$$\mu(E_1^{\Pi}) = \frac{1 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i}^{r-(k-i)} C_{j-1}^{i-1} q^i p^{j-i} + \sum_{j=0}^{r-k} C_{j+k-2}^j q^k p^{(r-k+1)+j}}{q^{k-1} \sum_{j=0}^{r-k} p^j C_{j+k-2}^j + q^k \sum_{j=0}^{r-k} p^{r-k+1+j} C_{j+k-2}^j} . \quad (9)$$

**Теорема 3.** Математическое ожидание числа проконтролированных объектов до остановки контроля при классическом контроле по правилу «из последних  $r_1$  объектов 2 дефектных объекта или из последних  $r_2$  объектов  $k_2$  дефектных объекта» при  $q$  – вероятности дефектности каждого объекта и  $p=1-q$  – вероятности годности каждого объекта выражается формулой:

$$\mu(E_{r_1, r_2, 2, k_2}) = \frac{1 + q \sum_{i=0}^{r_1-2} p^i + q^{k_2-1} p^{(k_2-1)(r_1-1)} \sum_{i=0}^{r_2-r_1(k_2-1)-1} p^i C_{i+k_2-2}^i + \sum_{j=1}^{k_2-2} q^j p^{j(r_1-1)} \sum_{i=0}^{r_2-r_1(k_2-1)-1} p^i C_{i+j-1}^i}{q^2 \sum_{i=0}^{r_1-2} p^i + q^{k_2} p^{(k_2-1)(r_1-1)} \sum_{i=0}^{r_2-r_1(k_2-1)-1} p^i C_{i+k_2-2}^i}. \quad (10)$$

**Теорема 4.** Нижняя граница математического ожидания числа проконтролированных объектов до остановки контроля по правилу «из последних  $r_1$  объектов  $k_1$  дефектных объекта или из последних  $r_2$  объектов  $k_2$  дефектных объекта» при  $q$  – вероятности дефектности каждого объекта и  $p=1-q$  – вероятности годности каждого, если  $k_0=k_2/(k_1-1)$  – целое число, равна

$$\mu_H(E_{r_1, r_2, k_1, k_2}) = \frac{1 + q^{-1}G_1(q) + q^{-1}G_2(q)}{G_1(q) + G_2(q)}, \quad (11)$$

где 
$$G_1(q) = q^{k_1} \sum_{i=0}^{r_1-k_1} p^i C_{i+k_1-2}^i, \quad (12)$$

$$G_2(q) = q^{k_2} p^{(k_0-1)(r_1-k_1+1)} \sum_{i=0}^{r_2-(k_0-1)(r_1-k_1+1)-k_2} p^i C_{i+k_2-2}^i. \quad (13)$$

**Теорема 5.** Математическое ожидание числа проконтролированных объектов до наступления события  $E_{n_1, n_2, n_3}$  и его дисперсия соответственно равны:

$$\mu(E_{n_1, n_2, n_3}) = \frac{1 + p_3^{-1}V_1(p)}{V_1(p)},$$

$$\sigma^2(E_{n_1, n_2, n_3}) = \frac{V_1(p)[2V_2(p) - 3(1 + p_3^{-1}V_1(p))] + (1 + p_3^{-1}V_1(p))[1 + p_3^{-1}V_1(p) - 2V_3(p)]}{V_2^2(p)}, \quad (14)$$

где 
$$V_1(p) = p_3^2 \left[ \sum_{i=0}^{n_1-2} (1-p_3)^i + \sum_{j=n_1-1}^{n_2-2} \sum_{i=n_3}^j p_1^{j-i} p_2^i C_j^i \right], \quad (15)$$

$$V_2(p) = 1 + p_3 \left[ \sum_{j=1}^{n_1-1} (j+1)(1-p_3)^{j-1} + \sum_{j=n_3}^{n_2-1} (j+1) \sum_{i=n_3}^{j-1} p_1^{j-i-1} p_2^i C_{j-1}^i \right], \quad (16)$$

$$V_3(p) = p_3^2 \left[ \sum_{i=0}^{n_1-2} (i+1)(1-p_3)^i + \sum_{j=n_1-1}^{n_2-2} (j+1) \sum_{i=n_3}^j p_1^{j-i} p_2^i C_j^i \right], \quad (17)$$

где  $p = (p_1, p_2, p_3)$ .

Событие  $E_{n_1, n_2, n_3}$  – событие, состоящее в том, что «из последних  $n_1$  объектов два объекта третьего класса или из последних  $n_2$  объектов два объекта третьего класса и не менее  $n_3$  объектов второго класса», каждый объект с вероятностью  $p_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) относится к  $i$ -ому классу.

Здесь также рассмотрены правила остановки, когда процесс поступления объектов на контроль является марковской цепью. А именно, если объект  $O_i$  является годным, то с вероятностью  $p_{00}$  объект  $O_{i+1}$  является годным и с вероятностью  $(1 - p_{00})$  – дефектным. Если же объект  $O_i$  является дефектным, то объект  $O_{i+1}$  с вероятностью  $p_{11}$  является дефектным и с вероятностью  $(1 - p_{11})$  является годным.

**Теорема 6.** Математическое ожидание числа проконтролированных объектов до наступления события  $E_{r,2}^M$  и дисперсия соответственно равны

$$\mu(E_{r,2}^M) = \frac{1 + p_{11} + (1 - p_{11})(1 - p_{00}^{r-2})}{p_0 [p_{11} + (1 - p_{11})(1 - p_{00}^{r-2})]}, \quad (18)$$

$$\sigma^2(E_{r,2}^M) = \frac{p_0(1 - p_{11})[(2r - 1)p_{00}^{r-2} - 2(1 - p_{00}^{r-2})(1 - p_{00})^{-1}]}{p_0^2 [1 - (1 - p_{11})p_{00}^{r-2}]^2} + \frac{(1 - p_0)[2 - (1 - p_{11})p_{00}^{r-2}]^2}{p_0^2 [1 - (1 - p_{11})p_{00}^{r-2}]^2}, \quad (19)$$

где событие  $E_{r,2}^M$  состоит в том, что при марковском потоке объектов, из последних  $r$  объектов два будут дефектными.

Далее рассматривается план непрерывного контроля Доджа и предлагается план альтернативный к плану Доджа. Доказана следующая теорема.

**Теорема 7.** Для всякого плана Доджа  $\Pi(l_D, \chi_D)$  при фиксированном  $q$  принадлежащему интервалу  $(0, 1)$  найдется альтернативный план контроля  $\Pi(l_A, \chi_A)$  с равными для плана Доджа математическим ожиданием доли проверенных объектов и средним уровнем выходного качества.

В этом разделе рассмотрены задачи оценивания параметров (вероятностей дефектности и годности объекта) по результатам непрерывного контроля. Здесь рассматривается класс несмещенных оценок в случае марковского потока объекта. Вводится определение параллельного непрерывного статистического контроля.

**Определение 7.** Параллельным непрерывным статистическим контролем назовем одновременный непрерывный контроль двух различных факторов с регистрацией результатов контроля в одни и те же равные промежутки времени на одном и том же объекте (территории) для выявления воздействия управляющего фактора на управляемый фактор с учетом лага.

Далее приводится алгоритм оценивания степени влияния управляющего фактора (например, показателя качества среды обитания) при условии превышения им своего порогового значения на управляемый фактор (например, показатель заболеваемости населения) при условии превышения тем своего порогового значения с помощью параллельного непрерывного контроля.

Здесь же сравниваются правила остановки контроля. В частности доказана следующая теорема.

**Теорема 8.** Для фиксированного значения  $p$  – вероятности годности объекта математическое ожидание числа проконтролированных объектов до остановки при классическом контроле больше или равно математического ожида-

ния числа проконтролированных объектов до остановки при контроле с памятью при заданном правиле остановки контроля «из последних  $r$  объектов -  $k$  дефектных объектов».

В этой главе также рассмотрен пример. Пусть наблюдается следующая последовательность:  $(0,1,1,1,0,1,0,\dots)$ . Здесь «1» обозначает, например, что уровень заболеваемости больше некоторого порогового значения, «0» обозначает, что уровень заболеваемости меньше порогового значения. Тогда остановка контроля по правилу «из последних  $r=4$  объектов будет  $k=2$  дефектных» при классическом контроле произойдет на 3-ем и 6-ом шаге контроля, а при контроле с памятью остановка произойдет на 2-ом, 3-ем, 4-ом и 6-ом шаге контроля, как схематично показано на рисунке 8. Это значит, что меры по снижению



Рис. 8. Шаги контроля:

а – классический план контроля; б – план контроля с памятью

риска здоровью должно приниматься на 2-ом, 3-ем, 4-ом и 6-ом шаге контроля, а не только на 3-ем и 6-ом шаге контроля, как это было бы при применении классических планов контроля.

Таблица 1 дает возможность сопоставить математическое ожидание проконтролированных объектов до наступления остановки контроля по правилу «из последних  $r$  объектов –  $k=2$  дефектных объектов» для классического контроля и контроля с памятью.

Это обстоятельство подчеркивает преимущество непрерывного контроля с памятью при управлении рисками здоровью населения, т.е. обуславливает более раннюю реакцию (управляющие действия) на ухудшение состояния здоровья.

Как показано на рисунке 9, для фиксированного значения, например,  $p=0,8$  и различных значений  $r$ , (правило остановки «из последних  $r$  объектов – два дефектных») с ростом значения  $r$  математическое ожидание числа проконтролированных объектов ( $\mu$ ) до остановки контроля убывает, как для классического контроля, так и для контроля с памятью. При этом математическое ожидание числа проконтролированных объектов до остановки контроля при контроле с памятью всегда меньше математического ожидания числа проконтролированных объектов до остановки контроля при классическом контроле. Таким образом, для выявления ситуации, требующей вмешательства управляющей организации, в случае непрерывного контроля с памятью количество ша-



гов контроля значительно меньше (например, при  $r=2$ ,  $k=2$  и  $p=0,8$  – на 82,3%), чем в случае проведения классического контроля.

**Таблица 1.** Математические ожидания проконтролированных объектов до остановки классического контроля (строки выделены) и контроля с памятью

	$p=0,999$	$p=0,99$	$p=0,95$	$p=0,9$	$p=0,8$	$p=0,7$	$p=0,6$	$p=0,5$
$r=2$	1001000,0	10100,0	420,0	110,0	30,0	14,4	8,8	6,0
	1000,0	100,0	20,1	10,2	5,3	3,8	3,0	2,6
$r=3$	501250,1	5125,1	225,1	62,6	18,9	9,9	6,4	4,7
	500,8	50,8	10,8	5,9	3,5	2,7	2,4	2,2
$r=4$	334666,9	3466,9	160,2	46,9	15,2	8,4	5,7	4,3
	334,3	34,3	7,7	4,4	2,9	2,4	2,2	2,1
$r=5$	251375,3	2637,8	127,8	39,1	13,5	7,7	5,4	4,1
	251,1	26,1	6,2	3,7	2,6	2,2	2,1	2,0
$r=6$	201400,4	2140,4	108,4	34,4	12,4	7,3	5,2	4,1
	201,2	21,2	5,3	3,3	2,4	2,1	2,1	2,0
$r=7$	168083,8	1808,8	95,5	31,3	11,8	7,1	5,1	4,0
	167,9	17,9	4,6	3,0	2,3	2,1	2,0	2,0
$r=8$	144286,3	1572,0	86,3	29,2	11,3	7,0	5,1	4,0
	144,1	15,6	4,2	2,8	2,2	2,1	2,0	2,0
$r=9$	126438,2	1394,4	79,4	27,6	11,0	6,9	5,0	4,0
	126,3	13,8	3,9	2,7	2,2	2,0	2,0	2,0
$r=10$	112556,3	1256,3	74,1	26,3	10,8	6,8	5,0	4,0
	112,4	12,5	3,6	2,6	2,1	2,0	2,0	2,0

Характер изображенных на рисунке 10 зависимостей сохраняется и при любых значениях  $p$ .



Рис. 9. Математическое ожидание числа проконтролированных объектов до остановки контроля для фиксированного значения  $p=0,8$  при  $k=2$

**В четвертой главе** рассмотрены процедуры групповых проверок. Здесь дан обзор мировой литературы по этому вопросу, приведены области применения процедур групповых проверок.

Здесь автором решаются задачи оценивания параметров по результатам проведения процедур групповых проверок. Описана оригинальная процедура групповых проверок. Доказана теорема об оптимальном объеме группы для приведенной автором процедуры групповых проверок, которая используется для отбора годных объектов (территорий) из совокупности объектов.

**Теорема 9.** Оптимальным объемом группы для одной проверки такой процедуры групповых проверок является

$$n^* = \begin{cases} \lfloor -1/\ln p \rfloor, & \text{если } (-1/\ln p) \text{ — не целое число и } (p - q \lfloor -1/\ln p \rfloor) \leq 0, \\ \lfloor -1/\ln p \rfloor + 1, & \text{если } (-1/\ln p) \text{ — не целое число и } (p - q \lfloor -1/\ln p \rfloor) > 0, \\ -1/\ln p, & \text{если } (-1/\ln p) \text{ — целое число,} \end{cases} \quad (20)$$

где  $\lfloor \cdot \rfloor$  - целая часть числа,  $p$  – вероятность того, что объект является годным и  $q=(1-p)$  – вероятность того, что объект является дефектным.

В разделе разработаны способы оценки точности полученных результатов в ходе исследований риска для здоровья населения. Предлагаемые способы позволяют достичь наперед заданной точности исследований, а в случае, когда это невозможно, позволяют оценить точность, которая была достигнута в ходе исследований. Прежде всего, требуемая точность может быть не достигнута по причине лимита (финансового или временного) исследований. Также приведен пример исследований, в которых достигается заданная точность оценки восприятия рисков для здоровья населением.

Авторский метод сжатия и расширения информационного пространства. Этот метод хорошо зарекомендовал себя при построении нейросетевой модели управления рисками здоровью населения. Это связано с тем, что управление происходит на фоне меняющихся условий (неуправляемых факторов, которые в свою очередь имеют достаточно большую степень влияния на управляемый фактор) и на различных территориях. Задача построения нейросетевой модели управления усложняется наличием управляющих факторов, которые не контролируются, т.е. факторов, с которых не снимаются показания и не фиксируются значения. Трудности могут заключаться также в неполноте или недостаточности данных. Например, часто контролируются и фиксируются факторы типа «процент нестандартных проб». При этом число проб по одному и тому же показателю за один и тот же период, но на разных территориях, может быть равно 100 и 2 штукам. Другая трудность состоит в неадекватной визуализации данных. Часто значение «0» того или иного фактора отражает сразу две ситуации. Ситуация первая – при контроле фактора его значение оказалось равным нулю. Ситуация вторая – фактор вообще не замерялся.

Метод основан на том, что все факторы, как управляющие, так и управляемые, представляются как случайные величины, по которым можно оценить математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение этих величин. Приводится итерационная процедура сжатия изначального информационного

пространства по наперед заданным правилам, в которых определяющую роль играют оценки математических ожиданий и среднеквадратических отклонений факторов, как случайных величин.

Процедура сжатия информационного пространства.

Пусть в качестве управляющих факторов выбрано  $N$  факторов:  $X_1, X_2, \dots, X_N$ , а в качестве управляемого фактора – один фактор  $Y$  (в общем случае можно рассматривать несколько управляемых факторов). Будем считать, что  $(N+1)$  фактор наблюдался  $M$  раз, т.е. иначе зарегистрировано  $M$  наблюдений.

В случае если результаты построения нейросетевой модели по зарегистрированным наблюдениям не удовлетворяют наперед заданным условиям, например, среднеквадратичная ошибка результата нейросетевого моделирования (ошибка обучения и/или ошибка тестирования) больше наперед заданного числа  $\varepsilon_0$ , то проводим пошаговую процедуру сжатия информационного пространства.

Шаг 1. Для каждого фактора найдем среднее значение и стандартное отклонение по  $M$  наблюдениям. Далее пометим те значения факторов  $X_i$  и  $Y$ , для которых справедливо:

$$m_{X_i} - k\sigma_{X_i} \leq x_{i,j} \leq m_{X_i} + k\sigma_{X_i}, \quad (21)$$

$$m_Y - k\sigma_Y \leq y_j \leq m_Y + k\sigma_Y, \quad (22)$$

где  $i = (\overline{1, N})$ ,  $j = (\overline{1, M})$ ,  $m_{\bullet}$  – среднее значение,  $\sigma_{\bullet}$  – стандартное отклонение,  $k$  – некоторый наперед заданный коэффициент из интервала  $(0,5;8)$ ,  $x_{i,j}$  –  $j$ -е наблюдение  $i$ -го управляющего фактора,  $y_j$  –  $j$ -е наблюдение управляемого фактора.

Шаг 2. На следующем шаге исключим из дальнейшего рассмотрения те наблюдения, в которых  $x_{i,j}$  не удовлетворяют неравенству (21) или  $y_j$  не удовлетворяют неравенству (22), и те управляющие факторы, у которых количество непомянутых показателей больше  $Mr$ , где  $r$  наперед заданное число из интервала  $(0;1)$ .

Шаг 3. После первых двух шагов обработки информации останется  $M_1$  наблюдений с  $N_1$  управляющим фактором ( $M_1 \leq M$ ,  $N_1 \leq N$ ).

Шаг 4. Далее на усеченном информационном пространстве пытаемся построить управляющую нейросетевую модель. В случае если результаты по-прежнему не удовлетворяют наперед заданным условиям (среднеквадратичная ошибка результата нейросетевого моделирования больше наперед заданного числа  $\varepsilon_0$ ), то вновь проводим пошаговую процедуру усечения информационного пространства, т.е. возвращаемся в первый шаг процедуры. При этом выбираем новые значения параметров  $k$  и  $r$ , обозначим их  $k_1$  и  $r_1$ , такие, что  $k_1 < k$  и  $r_1 \leq r$ .

После проведения процедуры сжатия информационного пространства и успешного построения нейросетевой модели производится процедура расширения информационного пространства.

Процедура расширения информационного пространства.

В построенную нейронную сеть на сжатом пространстве загружается исходное множество наблюдений и просчитывается  $z_i$  - отклонения прогнозируемых результатов (разница между истинным и прогнозным результатом). Получается параметр отклонения для каждого наблюдения и среднее отклонение, которое обозначим  $\bar{z}$ . В конфигурацию построенной нейронной сети добавляется один входной параметр – отклонение  $z_i$ , как результирующее значение влияния неконтролируемых факторов.

Для того чтобы получить прогнозное значение для управляемого фактора (выхода нейронной сети), достаточно в расширенные нейронные сети вести предполагаемые управляющие факторы (входы в нейронную сеть) плюс значение  $\bar{z}$  или из каких-либо предположений другое значение. Другим удачным примером выбора значения  $z$  может быть значение  $z$  за последний год по конкретной территории, если наблюдения формировались по годам и территориям.

Пример обобщенного расчета вектора  $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ , где  $n$  - количество управляемых факторов (выходов нейросети) будем рассматривать на конкретном примере. Управляющие (13 показателей качества среды обитания) и управляемые (16 показателей смертности по возрастам) факторы наблюдались на протяжении пяти лет на 48 территориях. Применение процедур сжатия и расширения информационного пространства позволило построить приемлемую по точности нейросетевую математическую модель для прогнозирования управляемых факторов по первым четырём годам наблюдения. То есть, была построена нейросеть с 29 входами (13 управляющих факторов и 16 факторов, характеризующих условия управления, по одному для каждого выхода) и 16 выходами (16 управляемых факторов) и по каждой территории на каждый год из четырёх лет были рассчитаны значения вектора  $Z$ .

Далее в нейросеть были введены данные управляющих факторов – значения вектора  $X$  за пятый год и значения вектора  $Z$  за четвертый год (за последний год перед прогнозным пятым годом) по территориям и получен прогноз управляемых факторов на пятый год. Поскольку управляемые факторы за пятый год были известны, оставалось их сравнить с прогнозными величинами, т.е. сравнить таблицы значений по 48 территориям (48 строк) и 16 управляемым факторам (16 столбцов).

По результатам оценки погрешности (выявлялся процент погрешности относительно интервала распределения случайной величины, т.е. управляемого фактора) получены следующие значения ошибок.

1. Общие (по всем строкам и столбцам) ошибки: средняя – 1,28%; максимальная – 30,6%; минимальная – 0,001%.

2. Средние ошибки по столбцам (по управляемым факторам) в процентах: 0,54; 0,17; 0,17; 0,22; 0,51; 0,85; 0,73; 0,85; 0,96; 1,11; 1,47; 1,57; 1,88; 2,02; 3,48; 3,16.

3. Средние ошибки по строкам (по территориям) в процентах: 0,85; 0,93; 0,43; 1,54; 1,55; 1,46; 2,26; 0,70; 0,93; 1,16; 0,59; 1,16; 1,39; 1,08; 0,78; 1,62; 1,20;

1,34; 0,95; 1,11; 1,53; 1,64; 0,38; 0,97; 0,59; 1,02; 1,14; 0,81; 1,20; 1,62; 0,92; 0,70; 0,46; 1,38; 0,75; 0,93; 1,20; 1,74; 1,14; 0,95; 2,09; 1,06; 0,63; 1,07; 4,08; 3,61.

4. Средние ошибки по территориям: средняя – 1,23%; максимальная – 3,48%; минимальная – 0,17%.

Очевидно, что только по двум возрастным категориям смертности из шестнадцати категорий средние ошибки превысили статистическую погрешность в 3% (пункт 2 – две последние ошибки). Также только по двум территориям из сорока восьми территорий средние ошибки превысили статистическую погрешность в 3% (пункт 3 – две последние ошибки). Безусловно, прогноз, имеющий общую среднюю ошибку 1,28% и среднюю ошибку по территории 1,23%, можно признать удовлетворительным.

Такой подход (сочетание процедуры сжатия и процедуры расширения информационного пространства) к построению математической нейросетевой модели типа «управляющие факторы – управляемые факторы» для прогноза управляемых факторов, позволяет учесть влияние неконтролируемого управляющего вектора  $Z$  на результирующий вектор (управляемые факторы).

Далее изложен метод предобработки входных данных, также предназначенный для повышения точности нейросетевого моделирования в задачах управления рисками.

Пусть имеется  $n$  входов для нейросети:  $X_1, X_2, \dots, X_n$  и один выход  $Y$ . Рассуждения будем вести для одного выхода, что само по себе не нарушит общность рассуждений для нескольких входов. Пусть проведено  $T$  наблюдений. То есть для  $X_i, (i = \overline{1, n})$  были зарегистрированы наблюдения:  $x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^T$ , а для  $Y$ :  $y^1, y^2, \dots, y^T$ .

Для каждого  $X_i, (i = \overline{1, n})$  рассчитаем заранее определенный набор функции  $f(X_i)$ :  $x, x^2, x^3, x^{-1}, x^{-2}, x^{-3}, \ln(x), \sqrt{x}, x^{\frac{1}{3}}, \sin(\alpha x), \operatorname{tg}(\alpha x), \operatorname{arctg}(\alpha x), e^{\alpha x}, e^{\alpha x^2}, \frac{1}{1+e^{\alpha x}}, \frac{e^{\alpha x} - 1}{e^{\alpha x} + 1}, \frac{e^{\alpha x} - e^{-\alpha x}}{2}$ , где  $\alpha = -10; -9, -8, -7, -6; -5; -4,5; -4; -3,5; -3; -2,5; -2; -1,5; -1; -0,5; -0,1; -0,01; -0,001; 0; 0,001; 0,01; 0,1; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 6; 7; 8; 9; 10$ .

С помощью стандартной процедуры находим коэффициент корреляции между каждой функцией  $Z = f(X_i)$  и выходом  $Y$ . Пусть наблюдались  $Z$  и  $Y$  случайные величины:  $z^1, z^2, \dots, z^T$  и  $y^1, y^2, \dots, y^T$ , тогда коэффициент корреляции между  $Z$  и  $Y$ :

$$r_{ZY} = \frac{\sum_{i=1}^T (z^i - \bar{z})(y^i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^T (z^i - \bar{z})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^T (y^i - \bar{y})^2}}, \quad (23)$$

$$\text{где } \bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^T z^i}{T}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^T y^i}{T}.$$

Определяем по модулю максимальный коэффициент корреляции среди вычисленных коэффициентов. Максимальный коэффициент по модулю указывает на функцию, через которую нужно пропустить сигнал (скорректировать) до входа его в нейронную сеть. Корректировка сигнала может повторяться несколько раз до тех пор, пока максимальный коэффициент корреляции среди вычисленных коэффициентов не принадлежит функции  $f(x) = x$ .

Далее предлагается метод восстановления утраченных данных, который основан на ранжировании коэффициентов корреляции и который учитывает особенности информационных данных Роспотребнадзора.

**Пятая глава** содержит материалы, которые положены в основу написания методических рекомендаций, разработанных в ФГУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора. В основу этих материалов легли математические методы разработанные автором и представленные в третьей и четвертой главе диссертации, а также реализация моделирования каскадной модели управления с помощью методов разработанных автором и представленных во второй главе работы. Совокупность материалов, изложенных в данном разделе, является целостной системой математических методов и алгоритмов для обоснования принятия решений в управлении рисками здоровью населения.

Здесь приводятся принципиальные положения управления рисками здоровью и общая постановка задачи управления этими рисками.

Последовательно приводятся материалы, которые легли в основу разработки методических рекомендаций «Определение порогов массовой неинфекционной заболеваемости и их использование в планировании надзорных мероприятий», на основе которых был разработан программный продукт «Расчет порогов для показателей здоровья и их использование при классификации территорий с массовой неинфекционной заболеваемостью» (свидетельство о государственной регистрации прилагается).

Для определения порогов массовой неинфекционной заболеваемости и их использования в планировании надзорных мероприятий органов и организаций Роспотребнадзора последовательно осуществляются следующие действия:

1. Подготовка исходной информации.
2. Расчет порогов массовой неинфекционной заболеваемости для классов болезней и нозологических форм.
3. Идентификация территорий с массовой неинфекционной заболеваемостью.
4. Оценка опасности воздействия факторов среды обитания на формирование классов болезней и нозологических форм с выделением территорий с наибольшей опасностью.
5. Анализ опасности воздействия факторов среды обитания и массовой заболеваемости на территориях.
6. Выделение территорий для планирования приоритетных надзорных действий.

7. Идентификация приоритетных компонентов загрязнения и объектов надзора, формирующих опасность массовой неинфекционной заболеваемости.

В результате реализации методических рекомендаций программным продуктом последовательно на вкладках можно визуально анализировать информацию о приоритетных территориях надзора (для субъекта федерации) или о приоритетных субъектах федерации (для Российской Федерации).

Также по каждой территории (для субъекта федерации) или по каждому субъекту федерации (для Российской Федерации) можно проанализировать приоритетные объекты по сравнительному коэффициенту опасности *HRI* (рисунок 10) или по какому-либо коэффициенту опасности. В качестве коэффициента опасности, согласно методическим рекомендациям программный продукт может использовать следующие показатели, содержащиеся в формах отчетности:

- доля проб воды в источниках централизованного водоснабжения, не отвечающих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям в процентах;

Территория	Объект надзора	HRI по...	Процент	Маркер
г. Александровск	Лакокрасочный завод №18, 51 Александровский район	5,25	0,00%	0
г. Лысьва	Лысьвинский каменный карьер	8930,60	0,71%	0
г. Соликамск	ООО "Лытва"	468,21	0,04%	0
г. Чусовой	ЗАО "Электроинструмент"	122,36	0,01%	0
р. Горнозаводский	Гарант МП ЖКХ	906,39	0,07%	0
р. Красновишерский	МПП ЖКХ "Всеволодо-Вильва"	554,00	0,04%	0
р. Камарский	Первомайская ДАД (Аэропорт №3)	89,22	0,01%	0
р. Пермский	Уральские нормы ДАД ПФЗ - Березниковский ТУЭС г. Ал.	219,07	0,02%	0
Свердловский рн, г. Пермь	ООП "Кам"	7537,99	0,20%	0

Рис. 10. Приоритетные объекты надзора по *HRI*

- доля проб воды в источниках централизованного водоснабжения, не отвечающих гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям в процентах;

- доля проб воды в водопроводах, не отвечающих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям в процентах;

- доля проб воды в водопроводах, не отвечающих гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям в процентах;

- и т. д.

Таким образом, решены две задачи:

- определение порогов массовой неинфекционной заболеваемости;

- определение приоритетных объектов надзора на территориях с массовой неинфекционной заболеваемостью.

Далее последовательно приводятся материалы, которые легли в основу разработки методических рекомендаций «Обоснование целевых и индикативных показателей для планирования и корректировки ВЦП в условиях бюджетирования, ориентированного на результат», на основе которых был разработан программный продукт «Расчет целевых показателей непосредственного и конечного результатов для управляющей организации на территориях с массовыми»

ми неинфекционными заболеваниями» (свидетельство о государственной регистрации прилагается).

Реализация предложенных в методических рекомендациях подходов предполагает следующую последовательность действий:

1. Подготовка исходной информации, характеризующей показатели санитарно-эпидемиологической обстановки.
2. Обоснование критериальных значений показателей санитарно-эпидемиологической обстановки.
3. Оценка вероятностных характеристик показателей санитарно-эпидемиологической обстановки.
4. Определение плана непрерывного контроля по вероятностным характеристикам и подготовленной информации.
5. Установление причинно-следственных связей между показателями санитарно-эпидемиологической обстановки на основе параллельного непрерывного контроля с памятью этих показателей.
6. Определение целевых показателей санитарно-эпидемиологической обстановки для субъекта РФ.
7. Определение территорий с неблагоприятными, предкритическими и критическими ситуациями.
8. Определение целевых показателей санитарно-эпидемиологической обстановки для территорий РФ.
9. Расчет показателей популяционного риска для здоровья населения, связанного с показателем санитарно-эпидемиологической обстановки.
10. Оценка качества мероприятий по выполнению государственного задания.

В результате реализации методических рекомендаций программным продуктом последовательно на вкладках можно визуализировать информацию о маркированных территориях надзора (для субъекта федерации) или о маркированных субъектах федерации (для Российской Федерации), которая проиллюстрирована на рисунке 11. Маркировка предполагает классификацию территорий на критические, предкритические, неблагоприятные и безопасные территории с указанием целевых показателей непосредственного (показателей качества среды обитания) и конечного (показателей здоровья) результатов.

Субъект РФ: Пермский край

Показатель здоровья: **Известная болезнь: желтуха и Т2 перстной кишки**

Возрастная группа: все

Индикаторный показатель: Пробы воды

Фоновый показатель здоровья: 13,46 промилле

Фоновый индикаторный показатель: 6,72 % н/с проб по с/х показателям

Управляемый показатель здоровья: 0,08 промилле (управление установлено)

Города/районы	Характер	Текущи	Целевой	Численност.	Текущи ПЗ	Целевой ПЗ	Колво упр.	Колво управ.	Колво случаев вс.
г. Губа	неблагопр.	26,70	20,08	40086	17,95	4,10	164	43	704
г. Казанск	предкритич.	21,39	14,66	70393	19,13	5,67	398	104	1347
Индустриальн.	неблагопр.	67,72	61,00	180329	16,46	2,00	320	83	2478
Кировский р-н.	предкритич.	67,72	61,00	123039	18,36	5,50	677	176	2333
Свердловский	предкритич.	80,36	61,00	17924	19,24	6,24	344	84	1072
г. Индустриальный	критическая	64,44	57,72	14678	22,10	6,84	136	33	522
Ишбашевский	критическая	39,45	30,72	11046	19,46	19,04	298	38	497
р. Чердынский	предкритич.	31,58	24,85	52231	18,19	4,73	247	64	950
Свердловский	предкритич.	67,72	61,00	212435	15,91	2,45	520	135	3379

Рис. 11. Маркировка территорий



Также программный продукт рассчитывает коэффициент ежегодной результативности действий Роспотребнадзора. Например, по язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки за 2010 год по Пермскому краю отмечено снижение заболеваемости на 8,21%; при этом коэффициент ежегодной результативности действий органов и организаций Роспотребнадзора равен 0,013%.

Таким образом, решены следующие задачи:

- определение целевых показателей непосредственного и конечного результатов;
- классификация территорий по уровню заболеваемости;
- расчет коэффициента результативности действий.

Далее приводится метод определения допустимых уровней риска (на которые не влияют действия Роспотребнадзора) с помощью нейросетевого моделирования. Проводились сравнения текущих уровней риска с допустимыми уровнями риска в системе Роспотребнадзора по Пермскому краю за 2010 год по 13 нозологическим формам и классам заболеваний. Только по двум нозологическим формам из тринадцати текущие уровни совпадали с допустимыми уровнями для Роспотребнадзора. Во всех остальных случаях Роспотребнадзор не исчерпал своих возможностей по снижению уровней риска для здоровья населения.

В этом же разделе изложена методика, которая позволяет оценить эффективность деятельности органов и организаций Роспотребнадзора. Методика использует метод матричного нелинейного прогнозирования.

Методика опирается на тот факт, что целевым критерием при планировании государственного задания на выполнение государственных услуг (работ) является отсутствие причинно-следственной связи показателя, характеризующего качество среды обитания (в пределах доли, управляемой в системе Роспотребнадзора), с действиями органов и организаций Роспотребнадзора. Исходя из этого, коэффициент качества выполнения государственного задания ( $KK$ ) – показатель, характеризующий основные результаты работы органов и организаций Роспотребнадзора по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия за расчетный год, рассчитывается по формуле:  $KK = kd_4 - kd_5$ , где  $kd_5$  - усредненный коэффициент детерминации за пять лет, включая расчетный год, а  $kd_4$  - усредненный коэффициент детерминации за четыре года перед расчетным годом.

Усредненные коэффициенты детерминации определяют степень влияния совокупности действий органов и организаций Роспотребнадзора на показатели качества среды обитания.

Далее проводится анализ коэффициента качества выполнения государственного задания.

Если  $KK > 0$ , то выполнение государственного задания за год позволило снизить причинно-следственную связь между показателями, характеризующими действия органов и организаций Роспотребнадзора, и показателями, харак-

теризующими качество среды обитания, на  $\frac{100 * KK}{kd_4}$  процентов. В этом случае деятельность органов и организаций Роспотребнадзора по субъекту РФ является эффективной.

Если  $KK \leq 0$ , то выполнение государственного задания за год не позволило снизить причинно-следственную связь между показателями, характеризующими действия органов и организаций Роспотребнадзора, и показателями, характеризующими качество среды обитания. В этом случае деятельность органов и организаций Роспотребнадзора по субъекту РФ не является эффективной.

**В приложениях** приведены таблицы математических ожиданий числа проконтролированных объектов до наступления остановки контроля остановки по правилу «из последних  $r$  объектов –  $k$  объектов дефектных» и по правилу «из последних  $r_1$  объектов –  $k_1$  объектов дефектных или из последних  $r_2$  объектов –  $k_2$  объектов дефектных», а также акты внедрения.

### **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

В диссертационной работе в рамках решения поставленной научно-технической проблемы обоснования наиболее адекватного принятия решения и выбора управляющих действий одной из нескольких одновременно управляющих организаций при каскадном управлении рисками получены следующие результаты:

1. Разработана концепция и методология каскадного управления рисками одной из нескольких одновременно управляющих организаций в субъектах Российской Федерации или на территориях субъекта Российской Федерации. При этом, если число управляющих организаций и число объектов на территориях может быть разное, то число характеристик и рисков всегда одинаковое.

2. Разработаны методы моделирования управления рисками.

Метод матричного нелинейного прогнозирования (на модель существенно влияет параметр времени), на основе сформулированного автором понятия минимального амплитудного коридора матрицы динамических коэффициентов. Метод позволяет определить процент управляемого фактора (управляемых факторов), на который влияют управляющие факторы.

Метод нейросетевого моделирования управления рисками на основе процедур сжатия и расширения информационного пространства предметной области (предложенных автором), устанавливающий взаимосвязи между управляющими и управляемыми факторами без определения управляемого процента и без учета параметра времени в случае, когда модель управления не может быть построена методом нелинейного матричного прогнозирования.

3. Разработан комплекс методов и алгоритмов обоснования целевых показателей непосредственного и конечного результатов, а также прогнозирования результатов управления рисками. Комплекс методов и алгоритмов включает: - теоретические основы непрерывного статистического контроля с памятью; - формулы для нахождения характеристик для правил остановки непрерывного контроля, как для классического случая, так и для случая контроля с памятью, неизвестные ранее (например, математическое ожидание числа проконтролиро-

ванных объектов до остановки контроля при классическом контроле и при контроле с памятью по правилу «из последних  $r$  объектов  $k$  дефектных объектов»); - параллельный непрерывный контроль для установления причинно-следственной взаимосвязи факторов (показателей); - оптимальный объем группы для оригинальной авторской процедуры групповых проверок и теоретические основы оценивания для процедур групповых проверок.

Например, для Роспотребнадзора в 2012 году по заболеваниям эндокринной системы целевой показатель снижения заболеваемости по территориям Пермского края колеблется от 10 до 117 промилле по различным территориям (всего 53 территории) Пермского края. При определении уровней риска приемлемых для системы Роспотребнадзора в Пермском крае установлено, что уровень риска заболеваний для человека колеблется от 0 до 0,002.

4. На основе разработанного математического комплекса получен алгоритм определения порогов управляемых факторов, классификации территорий по уровню управляемых факторов и определения приоритетных объектов надзора на территориях с управляемым фактором, превышающим порог.

Например, в 2012 году по заболеваниям эндокринной системы была проведена классификация территорий для возрастной группы «дети». Из 53 территорий Пермского края 4 территории были признаны критическими и 5 территорий предкритическими. Всего исследовано 96 нозологических форм и классов болезней по возрастным группам «дети», «подростки», «взрослые» и «все».

5. Алгоритмизированы методы подготовки информационных массивов для моделирования управления, включающие методы восстановления пропущенных данных, функциональной обработки данных и отбора наблюдений для построенной модели управления.

6. Разработаны алгоритмы проверки точности полученных результатов в ходе решения задач управления рисками, позволяющие достигать заданной точности полученных результатов или оценивать их точность.

7. Разработаны критерии оценки результативности действий и эффективности деятельности управляющей организации. Приведен алгоритм расчета коэффициента качества выполнения государственного задания на основе разработанного комплекса математических методов.

Например, в результате выбора эффективных управляющих действий коэффициент результативности действий Роспотребнадзора по Пермскому краю по болезням эндокринной системы по возрастной группе «дети» за два года (2011-2012 г.г.) изменился со значения 0 на значение 0,04, что позволило снизить заболеваемость на 5,7%. Всего исследовано 96 нозологических форм и классов болезней по возрастным группам «дети», «подростки», «взрослые» и «все».

Коэффициент качества выполнения государственного задания за 2012 год по Пермскому краю по показателям качества среды обитания связанным с хозяйственно-питьевым водоснабжением, составил 0,02. Это позволило сделать вывод об улучшении качества среды обитания силами Роспотребнадзора на 2,8%. Оценка деятельности Роспотребнадзора по Пермскому краю за последние

два года позволяет сделать вывод об эффективности действий в силу снижения управляемой Роспотребнадзором доли показателей здоровья.

8. Все вышеперечисленные результаты дают возможность планировать работу управляющей организации при каскадном управлении рисками в условиях, когда имеется несколько одновременно управляющих организаций на нескольких территориях субъекта РФ или в Российской Федерации как совокупности субъектов РФ. На примере Роспотребнадзора показано, как его управляющими действиями можно уменьшить риск здоровью населения, что снижает уровень заболеваемости и происходит перераспределение смертности населения на более зрелый возраст, что в свою очередь увеличивает общую продолжительность жизни человека.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Монографии**

1. Гусев, А.Л. Управление и процедуры групповых проверок [Текст] / А.Л. Гусев. – Saarbrucken (Germany): LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 75 с.

2. Гусев, А.Л. Непрерывный статистический контроль при управлении [Текст] / А.Л. Гусев. – Los Angeles (USA): Createspace, 2012. – 128 с.

### **Статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК**

3. Гусев, А.Л. Характеристики правил остановки контроля [Текст] / А.Л. Гусев // Надежность и контроль качества. – 1989. - № 4. - С. 57-63.

4. Gusev, A.L. Recurrent events and characteristics of plans of continuous control [Text] / A.L. Gusev // Journal of Mathematical Sciences. - 1995. - Vol. 75. - P. 1571-1575.

5. Gusev, A.L. Probabilistic characteristics of one stopping rule for steady control [Text] / A.L. Gusev // Journal of Mathematical Sciences. - 1995. - Vol. 75. - P. 1435-1436.

6. Гусев, А.Л. Рекуррентные события при непрерывном контроле для задач управления в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения [Текст] / А.Л. Гусев // Системы управления и информационные технологии. - 2010. - №4 (42). - С. 100-104.

7. Гусев, А.Л. Совершенствование методических подходов к планированию деятельности органов и организаций Роспотребнадзора в рамках региональных ведомственных целевых программ [Текст] / Н.В. Зайцева, А.Л. Гусев, П.З. Шур // Здоровье населения и среда обитания. - 2010. - №1 (214). - С. 4-7.

8. Гусев, А.Л. Методические подходы к определению вклада органов и организаций Роспотребнадзора в управление риском здоровью населения [Текст] / Н.В. Зайцева, А.Л. Гусев, П.З. Шур, Е.В. Бабушкина // Здоровье населения и среда обитания. - 2010. - №11 (212). - С. 11-13.

9. Гусев, А.Л. Правило остановки контроля «из последних  $r$  объектов – 3 дефектных» [Текст] / А.Л. Гусев // Системы управления и информационные технологии. - 2011. - №2 (44). - С. 124-127.

10. Гусев, А.Л. Метод отбора информационного пространства для построения нейронной сети, как модели управления, в условиях зашумленных и

не полных данных [Текст] / А.Л. Гусев // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. - 2011. - №7. – С. 55-57.

11. Гусев, А.Л. Нейросетевая модель региона для выбора управляющих воздействий в области обеспечения гигиенической безопасности [Текст] / А.Л. Гусев, Л.Н. Ясницкий, Н.В. Зайцева, П.З. Шур // Информатика и системы управления. - 2011. – №3(29). – С. 51-59.

12. Гусев, А.Л. Правило остановки контроля «из последних  $r$  объектов – к дефектным» [Текст] / А.Л. Гусев // Фундаментальные исследования. - 2012. - №3. - С. 154-157.

13. Gusev, A.L. Continuous Inspection with Memory [Text] / A.L. Gusev // Statistics & Probability Letters. - 2012. – Vol. 82. – P. 303-307.

14. Gusev, A.L. The optimal number of items in a group for group testing [Text] / A.L. Gusev // Statistics & Probability Letters. - 2012. – Vol. 82. – P. 2083-2085.

15. Гусев, А.Л. Функциональная предобработка входных сигналов нейронной сети контроля [Текст] / А.Л. Гусев, Ф.М. Черепанов, Л.Н. Ясницкий // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. - 2013. - №5. – С. 19-21.

16. Гусев, А.Л. Сложные правила остановки непрерывного контроля [Текст] / А.Л. Гусев // Современные проблемы науки и образования. - 2013. – № 4. - URL: <http://www.science-education.ru/109-9556>.

17. Гусев, А.Л. Правила остановки для классического контроля и контроля с памятью [Текст] / А.Л. Гусев // Современные проблемы науки и образования. - 2013. – № 3. - URL: <http://www.science-education.ru/109-9556>.

18. Гусев, А.Л. Точность статистической оценки [Текст] / А.Л. Гусев // Фундаментальные исследования. - 2013. - № 8 (4). - С. 828-831.

#### **Статьи в других изданиях**

19. Гусев, А.Л. Оценка параметра биномиальной совокупности в случае групповых процедур [Текст] / А.Л. Гусев // Статистические методы. -1982. - С.13-18.

20. Гусев, А.Л. Марковские модели контроля вычислительных систем [Текст] / А.Л. Гусев, Я.П. Лумельский, В.В. Чичагов // Моделирование вычислительных систем и процессов. - 1983. - С. 29-35.

21. Гусев, А.Л. Процедуры групповых проверок с использованием априорной информации [Текст] / А.Л. Гусев // Статистические методы оценивания и проверки гипотез. - 1984. - С. 20-23.

22. Гусев, А.Л. Групповые процедуры проверки принадлежности к одному из многих классов [Текст] / А.Л. Гусев // Вероятностные процессы и их приложения. - 1984. - С. 8-12.

23. Гусев, А.Л. О различных схемах непрерывного контроля [Текст] / А.Л. Гусев // Статистические методы оценивания и проверки гипотез. - 1988. - С. 123-128.

24. Gusev, A.L. Estimation of the binomial parameter in group testing [Text] / A.L. Gusev // Journal of Soviet Mathematics. - 1987. - №39. – P. 2820-2824.

25. Gusev, A.L. Group-testing procedures that use a priori information [Text] / A.L. Gusev // Journal of Soviet Mathematics. - 1988. - №41. - P. 792-794.
26. Гусев, А.Л. Вероятностные характеристики одного правила остановки непрерывного контроля [Текст] / А.Л. Гусев // Статистические методы оценивания и проверки гипотез. - 1990. - С. 80-83.
27. Гусев, А.Л. Рекуррентные события и характеристики планов непрерывного статистического контроля [Текст] / А.Л. Гусев // Статистические методы оценивания и проверки гипотез. - 1991. - С. 99-107.
28. Gusev, A.L. Various schemes of continuous inspection [Text] / A.L. Gusev // Journal of Soviet Mathematics. - 1991. - №56. - P. 2476-2479.
29. Гусев, А.Л. Отбор наблюдений и выбор модели управления рисками здоровью населения в системе Роспотребнадзора [Текст] / А.Л. Гусев, Е.В. Хрущева // Вестник Пермского университета. Математика. - 2010. - №3. - С. 80-83.
30. Гусев, А.Л. Выбор модели для управления рисками здоровью населения [Текст] / А.Л. Гусев, Е.В. Хрущева // Вестник Пермского университета. Математика. - 2010. - №3. - С. 76-79.
31. Гусев, А.Л. Планы непрерывного контроля с памятью [Текст] / А.Л. Гусев // Статистические методы оценивания и проверки гипотез. - 2010. - №22. - С. 143-147.
32. Гусев, А.Л. Оценка точности результатов при исследовании восприятия рисков здоровью [Текст] / А.Л. Гусев // Бюллетень Пермской социологии, исследования 2009-2010гг. - 2010. - С. 39-43.
33. Гусев, А.Л. О возможностях применения метода нейросетевого математического моделирования для выявления целесообразных действий Роспотребнадзора [Текст] / Л.Н. Ясницкий, А.Л. Гусев, Н.В. Зайцева, П.З. Шур // Вестник Пермского университета. Биология. - 2010. - №3. - С. 40-45.

#### **Материалы и тезисы выступлений на конференциях**

34. Гусев, А.Л. О планах не первого вхождения [Текст] / А.Л. Гусев // Применение статистических методов в производстве и управлении: тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. - Пермь: ПГУ, 1984. - С. 156.
35. Гусев, А.Л. Об отборе группы элементов из бесконечной совокупности [Текст] / А.Л. Гусев // Достижения молодых ученых в области физико-математических наук: тезисы докладов научно-практической конференции. - Пермь: ПГУ, 1984. - С. 5-6.
36. Гусев, А.Л. Выбор ведущих компонент выбросов химических производств на основе классификации и математического моделирования рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе [Текст] / А.Л. Гусев, П.З. Шур // Статистические модели классификации и их практическая реализация на ЭВМ: тезисы докладов областной научно-технической конференции. - Пермь: ПГУ, 1986. - С. 9-10.

37. Гусев, А.Л. О двух схемах испытаний на надежность [Текст] / А.Л. Гусев // Исследования молодых ученых в области физико-математических наук: тезисы докладов конференции. – Пермь: ПГУ, 1988. - С. 8-9.
38. Гусев, А.Л. Несмещенные оценки параметров непрерывного контроля [Текст] / А.Л. Гусев // Стандартизация контроля качества и надежности промышленной продукции: тезисы докладов научно-технической конференции. – Горький: ГГУ, 1989. - С. 97-98.
39. Гусев, А.Л. Структурирование моделирования управления рисками здоровью населения в системе Роспотребнадзора [Текст] / Е.В. Бабушкина, А.Л. Гусев, Н.В. Зайцева, П.З. Шур // Научные основы и медико-профилактические технологии обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пермь: Изд-во «Книжный формат», 2009. - С. 11-15.
40. Гусев, А.Л. Методические подходы к моделированию изменения риска здоровью населения в зависимости от деятельности органов и организаций Роспотребнадзора [Текст] / Е.В. Бабушкина, А.Л. Гусев, Н.В. Зайцева, П.З. Шур // Научные основы и медико-профилактические технологии обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пермь: Изд-во «Книжный формат», 2009. - С. 16-25.
41. Гусев, А.Л. Методические подходы к моделированию управления рисками здоровью в системе Роспотребнадзора [Текст] / Е.В. Бабушкина, А.Л. Гусев, Н.В. Зайцева, П.З. Шур // Аналитические и числовые методы моделирования естественнонаучных и социальных проблем: материалы IV Международной научно-технической конференции. – Пенза: ПГУ, 2009. - С. 122-124.
42. Гусев, А.Л. Планирование выбора модели для управления рисками здоровью населения в системе Роспотребнадзора [Текст] / Л.А. Балюкина, А.Л. Гусев, Н.В. Зайцева, П.З. Шур // Научные основы и медико-профилактические технологии обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пермь: Изд-во «Книжный формат», 2009. - С. 230-234.
43. Гусев, А.Л. Разработка базовых элементов информационно-аналитической поддержки анализа причинно-следственных связей факторов среды обитания и здоровья населения [Текст] / Е.В. Бабушкина, А.Л. Гусев, Д.Ю. Лупач // Актуальные проблемы гуманитарных, юридических и экономических наук в современной России: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Кумертау: УГАТУ, 2010. - С. 9-10.
44. Гусев, А.Л. К вопросу об определении порогов массовой неинфекционной заболеваемости [Текст] / Н.В. Зайцева, П.З. Шур, А.Л. Гусев, А.Т. Шарифов // Гигиенические и медико-профилактические технологии управления рисками здоровью населения в промышленно развитых регионах: материалы научно-практической конференции с международным участием. – Пермь: Изд-во «Книжный формат», 2010. – С. 147-150.

45. Гусев, А.Л. Функциональная предобработка входных сигналов нейронной сети [Текст] / А.Л. Гусев, Ф.М. Черепанов, Л.Н. Ясницкий // Нейрокомпьютеры и их применение: материалы X всероссийской научной конференции. – Москва: МГГПУ, 2012. – С. 25.

46. Гусев, А.Л. Метод сжатия и расширения информационного пространства [Текст] / А.Л. Гусев // Медико-экологические информационные технологии: материалы XVI Международной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2013. - С.75-79.

#### **Свидетельства о государственной регистрации программ**

47. Гусев, А.Л. Расчет порогов для показателей здоровья и их использование при классификации территорий с массовой неинфекционной заболеваемостью / А.Л. Гусев, П.З. Шур// Программа для ЭВМ №2013618581. – 2013.

48. Гусев, А.Л. Расчет целевых показателей непосредственного и конечного результатов для управляющей организации на территориях с массовыми неинфекционными заболеваниями / А.Л. Гусев, П.З. Шур//Программа для ЭВМ № 2013618580. – 2013.