

На правах рукописи



Макеев Сергей Михайлович

**МЕТОД И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ТЕХНОГЕННОГО РИСКА  
ПРИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ  
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В РЕГИОНЕ**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных  
и экономических системах

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Брянск – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном казенном военном образовательном учреждении высшего образования "Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации".

Научный руководитель: Соловьев Борис Игоревич,  
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Минаев Владимир Александрович,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры "Защита информации" ФГБОУ ВО  
"Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)"

Подвесовский Александр Георгиевич,  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой "Информатика и программное обеспечение" ФГБОУ  
ВО "Брянский государственный технический университет"

Ведущая организация: Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
"Юго-Западный государственный университет" (ФГБОУ ВО "ЮЗГУ")

Защита состоится " 15 " июня 2017 г. в 16:00 на заседании диссертационного совета Д 212.021.03 при ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет" по адресу: 241035, г. Брянск, ул. Харьковская, д. 10-Б, учебный корпус №4, ауд. Б101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет" и на официальном сайте: <http://www.tu-bryansk.ru/content/nauka/zacsh>.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2017

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



М. Ю. Рытов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** При повышении объемов информационного обмена и его динамики в социально-экономических системах обостряется необходимость оперативного реагирования на складывающиеся ситуации в регионе, а также принятия обоснованных управленческих решений. Данная ситуация требует повышения эффективности управления органов государственной власти (ОГВ) в субъектах РФ. Для решения управленческих задач в региональных ситуационных центрах (СЦ) существует комплекс методических, информационных и аппаратно-программных средств. Основной задачей СЦ является комплексная оценка проблемной ситуации на основе применения специальных методов обработки больших объемов информации, а также оперативное построение и рассмотрение сценариев их развития. При выработке решений необходимо оценивать риски достижения поставленных целей (политических, экономических и социальных), своевременно конструировать варианты решений и наглядно представлять результаты оценки и прогнозирования их последствий. Основное отличие СЦ от традиционных систем автоматизации управления состоит в том, что в режиме реального времени осуществляется анализ последствий управленческих решений. В региональном СЦ обеспечивается комплексная интеллектуальная обработка информации и коллективная поддержка принятия решений за счет особого распределения функций между машиной и человеком.

Социально-экономическое развитие региона во многом зависит от расположенных на территории промышленных объектов, представляющих собой серьезную угрозу общественной безопасности. В связи с этим, от руководителя в регионе требуется осуществление постоянного контроля за ситуацией в регионе, в том числе, влиянием потенциально опасных объектов (ПОО) на нее, и в случае возникновения техногенной опасности, принятия обоснованных управленческих решений. В этих условиях оказывается остро востребованной интеллектуальная поддержка принятия управленческих решений. Это обусловлено неполнотой и противоречивостью поступающих данных с одной стороны, и ограниченностью по времени срока на принятие решения с другой. Задачу получения объективной информации о состоянии ПОО решает региональный СЦ, который в повседневном режиме функционирования обеспечивает комплексный мониторинг обстановки, осуществляет количественную оценку техногенных рисков и информационную поддержку мероприятий по их снижению. С этой целью в реализованных функциях, задачах и принципах системы поддержки принятия решений особое внимание уделяется сфере государственного управления, которое характеризуется необходимостью использования совокупности моделей анализа и оценки социально-экономической и общественно-политической обстановки в регионе, интегрированным

характером процедур принятия решений. Однако анализ существующего математического аппарата, используемого в региональном СЦ, показал его недостаточную эффективность для обработки больших объемов данных и невозможность выявления, оценки и прогнозирования последствий техногенных угроз с учетом возникновения неблагоприятных событий на ПОО в условиях ограниченного ресурса времени. Таким образом, было выявлено **противоречие** между потребностями в эффективном управлении в социально-экономической системе (регионе) с целью противодействия различного рода техногенным рискам и недостаточными возможностями современных систем интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений.

В исследовании рассматривается оперативное управление, реализуемое сложной организационной системой (региональный СЦ), которое предполагает оценку выявленного при контроле несоответствия показателей функционирования ПОО (представления знаний об объекте управления) плановым значениям, и предусматривает использование обучения и обобщения в качестве основных процедур при управлении по текущим состояниям.

В трудах современных отечественных и зарубежных ученых представлены фундаментальные научные результаты для дальнейшего развития интеллектуальных систем поддержки принятия решений (СППР). Между тем, существующие подходы к решению задач исследования методов и алгоритмов оценки состояния ПОО в интеллектуальных СППР региональных СЦ, обнаружение в них закономерностей, а также исследование и разработка способов и приемов оценивания риска техногенных угроз носят локальный по областям применений и разрозненный по методам характер. Это делает актуальной тему исследования и обуславливает выбор объекта, предмета и цели исследования.

**Объект исследования:** процесс выявления опасности и количественной оценки техногенного риска на ПОО в интеллектуальной СППР регионального СЦ.

**Предмет исследования:** модели, методы и алгоритмы оценки состояний ПОО в интеллектуальной СППР регионального СЦ.

**Цель исследования:** повышение достоверности и оперативности принятия решений об угрозах безопасности при интеллектуальной поддержке принятия управленческих решений в регионе.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **задачи:**

1) проанализировать основные направления и средства инструментальной поддержки принятия управленческих решений в СЦ субъектов Российской Федерации;

2) провести анализ существующего математического и методического аппарата для оценки рисков техногенных угроз в интеллектуальных СППР региональных СЦ;

3) разработать способы и приемы оценки состояния ПОО в интеллектуальных СППР региональных ситуационных центров;

4) разработать способы и приемы оценки риска техногенных угроз в интеллектуальных СППР региональных СЦ.

**Методы и средства исследования:** методы системного анализа, теорий вероятности и математической статистики, теории распознавания образов, аппарата байесовских сетей доверия и имитационного моделирования.

**Научная новизна** полученных результатов диссертационного исследования заключается в том, что разработаны:

1. Метод оценки состояния потенциально опасного объекта в интеллектуальной системе поддержки принятия решений регионального СЦ, базирующийся на сценарном описании признакового пространства с помощью байесовской сети доверия и *отличающийся* использованием формализованной человеко-машинной процедуры возникновения неблагоприятных событий.

2. Методика оценки риска техногенных угроз от потенциально опасных объектов в интеллектуальной системе поддержки принятия решений регионального СЦ, базирующаяся на вероятностной модели возникновения неблагоприятных событий и *отличающаяся* рекуррентным оцениванием значений параметров и апостериорным оцениванием вероятностей в процессе рекурсивного обхода байесовской сети доверия в региональном ситуационном центре.

3. Архитектура подсистемы оценки риска техногенного характера регионального ситуационного центра, базирующаяся на разработанном методе и методике и позволяющая оценить достоверность и оперативность принятия управленческих решений в регионе.

**Положения выносимые на защиту:**

1. Метод оценки состояния потенциально опасного объекта в интеллектуальной СППР регионального СЦ.

2. Методика оценки риска техногенных угроз от ПОО в интеллектуальной СППР регионального СЦ.

3. Архитектура подсистемы оценки риска техногенного характера регионального ситуационного центра.

**Практическая значимость** работы заключается в доведении разработанных теоретических положений до научно-технических предложений, реализованных в проекте плана основных мероприятий по организации работ при создании, развитии и модернизации ситуационного центра главы субъекта РФ (подтверждено актом из Центра специальной связи и информации Федеральной службы охраны по Орловской области) и в использовании результатов диссертационного исследования в учебном процессе Академии ФСО России на кафедре "Автоматизированные информационные системы" в учебных дисциплинах: "Математические методы принятия решений в организационном управлении" и

"Автоматизированные системы специального назначения" (подтверждено актом из Академии ФСО России), кроме того, разработка и реализация подтверждается свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013618522 от 10.09.2013, № 2015615277 от 14.05.2015, № 2015615323 от 15.05.2015, № 2016615632 от 26.05.2016 Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент).

**Достоверность научных результатов** подтверждается непротиворечивостью известным способам и приемам оценки техногенных рисков, корректностью применения теории вероятностей и теории графов при построении моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений, согласованностью с результатами, полученными другими исследователями, а также апробацией основных теоретических положений диссертации в печатных трудах и докладах научных конференциях.

**Область исследования.** Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки) по следующим областям исследований:

п. 6. Разработка и совершенствование методов получения и обработки информации для задач управления социальными и экономическими системами.

п. 7. Разработка методов идентификации в организационных системах на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации.

п. 10. Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в экономических и социальных системах.

**Апробация результатов работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на 8-й, 9-й, 10-й Всероссийских научно-практических конференциях на базе Академии ФСО России (г. Орёл, 2013, 2015 и 2017 гг.), XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Научная сессия ТУСУР–2014", (г. Томск, ТУСУР, 2014 г.), II Всероссийском форуме "Техногенные катастрофы: технологии предупреждения и ликвидации" (г. Москва, 2014 г.), Всероссийской научно-практической конференции "Научное и кадровое обеспечение системы ситуационных центров как ключевого фактора повышения эффективного государственного управления" (г. Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, 2016 г.), X Всероссийской научно-практической конференции "Территориально распределенные системы охраны" (г. Калининград, ФГКОУ ВО "КПИ ФСБ России", 2017 г.)

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 8 печатных работах, включая 4 публикации в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК при Минобрнауки РФ, получены 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Личный вклад автора** заключается в разработке основных теоретических положений, выносимых на защиту; в разработке метода и

методики, вошедших в структуру методологии; в разработке компонент программного обеспечения и проведении вычислительных экспериментов, систематизации полученных результатов. Все представленные в диссертации положения, выносимые на защиту, получены лично автором, либо с учетом рекомендаций научного руководителя.

**Структура и объем работы.** Диссертационное исследование состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и 2 приложения. Общий объем работы составляет 136 страниц, 23 рисунка, 5 таблиц. Библиографический список содержит 136 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, выбраны методы исследования, отмечена научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту, а также сведения об апробации результатов исследования.

**В первой главе** показана актуальность проблемы повышения эффективности управления региональными ОГВ. Установлено, что на первый план выходят своевременность и быстрота реагирования руководства региона на изменения обстановки и взаимодействие со структурами различного уровня. Схема организации процесса управления в субъекте РФ (регионе) представлена на рисунке 1.

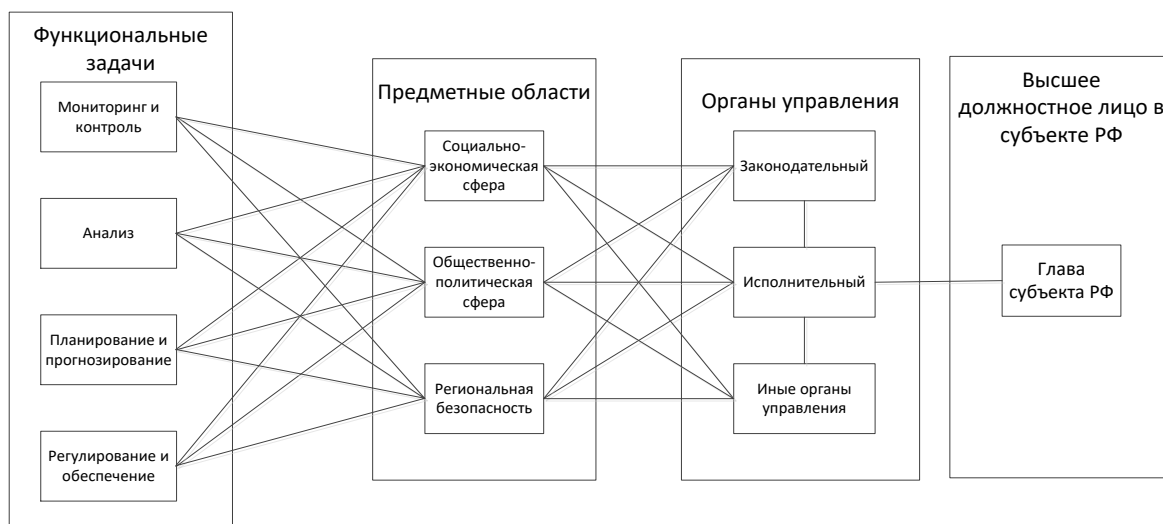


Рисунок 1 – Схема организации процесса управления в субъекте РФ

Анализ подходов к управлению социально-экономическими системами выявил множество теоретических и практических разработок, таких авторов, как Новиков Д.А., Анфилатов В.С., Ильин Н.И., Зацаринный А.А., Антонов А.В., и др. Проблемами анализа и управления рисками посвящены труды многих отечественных и зарубежных ученых: Махутова Н.А., Кульбы В.В., Костогрызова А.И., Белова П.Г., Острейковского В.А., Акимова В.А.,

Гражданкина А.И., Хенли И. и др. Работы отечественных ученых Тулупьева А.Л., Николенко С.И., Сироткина А.В. и др. отражают различные аспекты вероятностного моделирования сложных систем с помощью байесовских сетей. Методы технического диагностирования в системах поддержки принятия решений на основе байесовского подхода рассмотрены в работах Осипова Н.А., Дорожко И.В., Загорулько А.Н., Murphy L.R., Rabiner R. и др.

Исследования показали, что следует выделить необходимость обобщения опыта практического использования различных механизмов управления с целью создания методики и автоматизированной информационной системы, которые позволили бы использовать в каждом конкретном случае адекватные и эффективные процедуры управления.

Для решения различных управленческих задач с применением автоматизированных и инструментальных средств комплексного анализа и многовариантного сценарного прогнозирования социально-экономического развития региона создаются региональные СЦ. Исследованы возможности существующего математического и методического аппарата для оценки риска техногенных угроз в региональных СЦ. В зависимости от типа, характера, взаимосвязи, динамики величин, определяющих рисковую ситуацию от потенциально опасного объекта существуют различные классы математических моделей и методов оценки риска. При этом в региональных СЦ существующие модели предусматривают представление компонентов риска как статических величин, что не всегда соответствует опыту и практике эксплуатации ПОО региона.

В результате проведенного анализа была выдвинута гипотеза о том, что предлагаемые технические решения в СППР регионального СЦ повышают эффективность интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при угрозах безопасности в регионе.

**Во второй главе** рассмотрен процесс моделирования возникновения и развития неблагоприятных событий техногенного характера на ПОО в интеллектуальной СППР регионального СЦ.

Наиболее адекватным способом представления риска в теории техногенной безопасности сложных систем, а также в решении задачи оценки техногенных угроз от ПОО в интеллектуальной СППР регионального СЦ, является динамическая модель техногенного риска, которая предполагает рассмотрение риска как величины, изменяющейся во времени под воздействием случайных факторов. В интеллектуальной СППР регионального СЦ возникновение и развитие неблагоприятных событий на ПОО определяется в соответствии со сценарием  $E(a_u^k) = \{S_{u,0}^k \rightarrow \dots \rightarrow S_{u,n}^k\}$ , где  $S_{u,n}^k$  - одно из  $N$  возможных состояний  $u$ -го ПОО  $k$ -го типа, структура которого задается через дерево событий (отказов) в виде ориентированного графа. Смена состояний  $S_{u,n}^k$  на ПОО имеет вероятностный характер, обусловленный неоднозначностью возникающих неблагоприятных событий



в системе, что определяет различные сценарии развития ситуации на ПОО региона.

В интеллектуальной СППР регионального СЦ для оценки состояния  $S_{u,n}^k$  ПОО по наблюдаемым значениям  $X_u^k(t) = \{x_{u,1}^k(t), x_{u,2}^k(t), \dots, x_{u,m}^k(t), \dots, x_{u,M}^k(t)\}$  в определенный момент времени  $t$  используется обобщенная схема, представленная на рисунке 2.

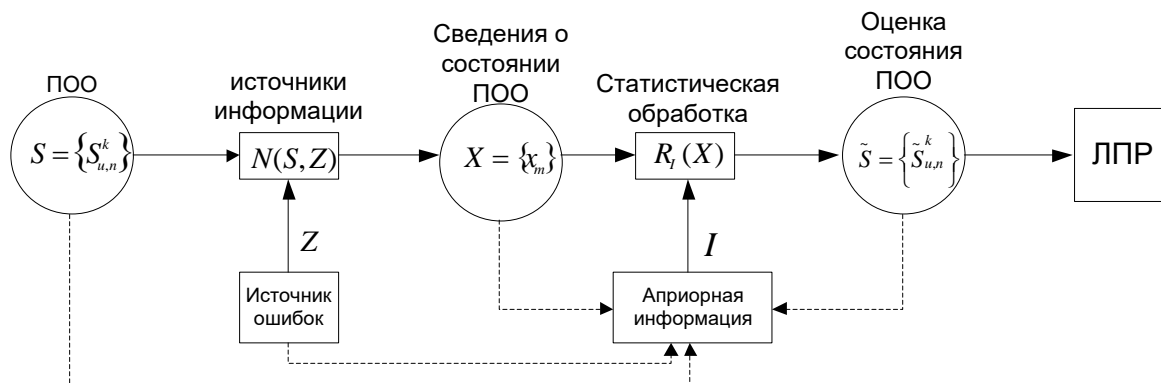


Рисунок 2 – Общая схема принятия решения по оценке состояния ПОО в региональном СЦ

Задача определения состояния ПОО, в интеллектуальной СППР регионального СЦ, по наблюдаемым признакам относится к классу задач распознавания образов (классификации). При этом зависимость класса (состояния ПОО) от вектора наблюдений носит вероятностный характер.

Получение информации о состоянии ПОО осуществляется в региональном СЦ дистанционно с использованием технических средств (датчиков), которые преобразуют контролируемую величину (например, давление  $Pa$ , температуру  $Te$ , расход  $Rs$ , концентрацию  $Kn$ , частоту  $Fv$ , скорость  $Vs$ , перемещение  $Sl$ , напряжение  $Uc$ , электрический ток  $Ic$ ) в электрический или оптический сигнал, удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации информации о состоянии объекта измерений.

Вся совокупность последовательностей наблюдений (значений контролируемых величин) может быть представлена в виде матрицы наблюдений размером  $Z \times M$ :

$$M_N(\bar{X}_u^{k,Z}) = \left\| x_{u,m}^{k,z} \right\| = \begin{pmatrix} x_{u,1}^{k,1} & x_{u,2}^{k,1} & \dots & x_{u,m}^{k,1} & \dots & x_{u,M}^{k,1} \\ x_{u,1}^{k,2} & x_{u,2}^{k,2} & \dots & x_{u,m}^{k,2} & \dots & x_{u,M}^{k,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{u,1}^{k,z} & x_{u,2}^{k,z} & \dots & x_{u,m}^{k,z} & \dots & x_{u,M}^{k,z} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{u,1}^{k,Z} & x_{u,2}^{k,Z} & \dots & x_{u,m}^{k,Z} & \dots & x_{u,M}^{k,Z} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $x_{u,m}^{k,z}$  – значение измерения контролируемой величины, преобразованной датчиком и получаемой дистанционно в региональном ситуационном центре,

$Z$  – мощность множества всех возможных векторов наблюдения  $\left| \vec{X}_u^{k,Z} \right|$ ,  $M$  – число контролируемых величин, определяющих состояние ПОО региона.

Значения каждого элемента вектора  $KV = \{x_{u,1}^k, x_{u,2}^k, \dots, x_{u,m}^k\}$  образуют вектор измерений данной величины  $\vec{X}_u^{k,Z}$ , который в общем случае может содержать значения  $\{0, 1, 2, \dots, \eta - 1\}$  в определенный момент времени. Общее число  $Z$  возможных векторов измеряемых величин определяется как  $Z = \eta^M$ .

Принятие решения в региональном СЦ о состоянии ПОО (опасное, неопасное) осуществляется по полученным оценкам состояния ПОО региона, которые формируются на основе множества наблюдаемых признаков  $X_u^k(t) = \{x_{u,1}^k(t), x_{u,2}^k(t), \dots, x_{u,m}^k(t), \dots, x_{u,M}^k(t)\}$ , представленных в виде временного ряда – последовательности измерений во времени (признаковое описание). Данный ряд преобразуется датчиками и передается в центр приема и обработки информации. Таким образом, на вход модели поступают значения векторов  $\vec{X}_u^{k,Z}$ , а выходом модели является одно из значений вектора  $\vec{Y} = \{Y_1, Y_2\}$ .

$$Y(t) = f\{X_u^k(t)\}. \quad (2)$$

Данная зависимость представлена на рисунке 3.

Получаемые измерения в интеллектуальной системе поддержки принятия решений могут быть неполными, поскольку на практике могут измеряться не все возможные величины вектора  $KV = \{x_{u,1}^k, x_{u,2}^k, \dots, x_{u,m}^k\}$ . В результате одному описанию  $x_u^k(t) = \{x_{u,1}^k(t), x_{u,2}^k(t), \dots, x_{u,m}^k(t), \dots, x_{u,M}^k(t)\}$  могут соответствовать различные значения вектора  $\vec{Y} = \{Y_1, Y_2\}$ .

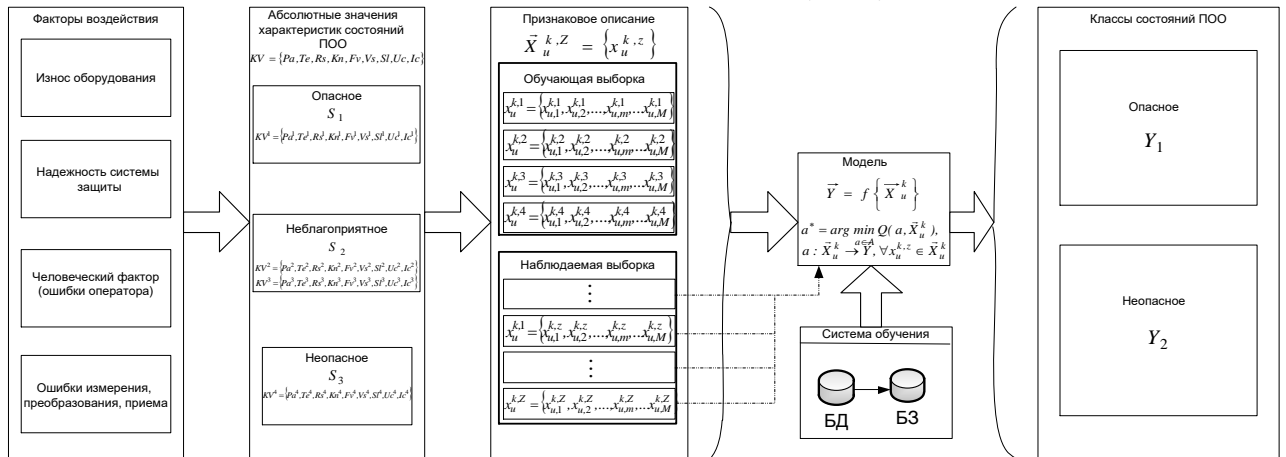


Рисунок 3 – Формализованная схема процесса оценки состояния ПОО в интеллектуальной СППР регионального СЦ

Процесс функционирования ПОО региона может быть представлен как последовательность смены состояний, которые определяются вероятностным сценарием возникновения и развития неблагоприятных событий. Для классификации состояния ПОО в интеллектуальной СППР по наблюдаемым значениям признакового пространства предложено использование байесовской сети доверия (БСД), позволяющей учитывать динамику

изменения состояний ПОО. Описание БСД на примере развития неблагоприятных событий на ПОО представлено на рисунке 4.

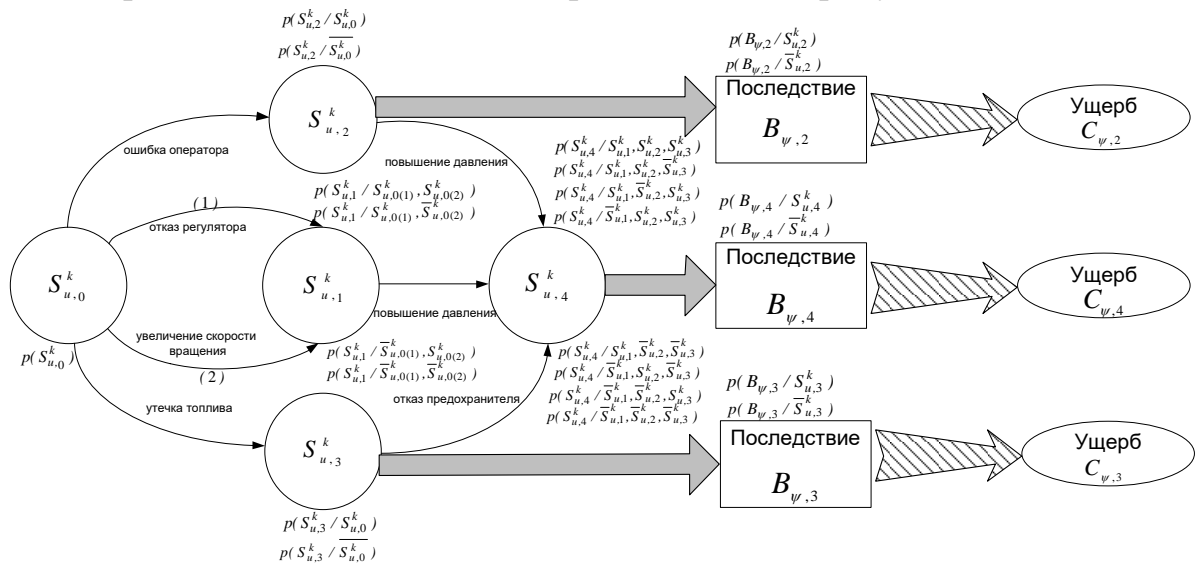


Рисунок 4 – Описание процесса развития неблагоприятных событий на ПОО на основе БСД в интеллектуальной СППР регионального СЦ

Вероятности возникновения неблагоприятных событий в БСД интеллектуальной СППР могут определяться на основе: теоретических выводов, статистики измерений на предприятиях, мнений экспертов. Поскольку практически невозможно описать процесс возникновения неблагоприятного события в терминах совокупности элементарных событий, то для решения этой задачи целесообразно использовать формализованную человеко-машинную процедуру.

**Третья глава** посвящена разработке методики оценки риска техногенных угроз на ПОО в региональном СЦ.

Оценка риска техногенных угроз в региональном СЦ предполагает вычисление двух компонент: вероятности возникновения неблагоприятных событий и вероятности их воздействия. Тогда процесс оценки риска техногенных угроз может быть представлен в виде блок-схемы, изображенной на рисунке 5.



Рисунок 5 – Способы и приемы оценки риска техногенных угроз

Ключевым элементом процесса оценки риска в интеллектуальной СППР является определение вероятности возникновения неблагоприятных событий на ПОО в регионе. В соответствии с существующей задачей в работе была определена вероятностная модель возникновения и развития неблагоприятных событий на ПОО на основе БСД в соответствии с существующим сценарием развития. Повышение качества оценивания состояния ПОО в интеллектуальной СППР основывается на построении алгоритма переобучения БСД.

Для этого в интеллектуальной СППР каждому узлу сети сопоставляется набор априорных оценок условных вероятностей  $p(S_{u,n}^k / S_{u,q}^k), n, q = \overline{1, N}, n \neq q, S_{u,q}^k \in I(S_{u,n}^k)$  для соответствующего состояния  $S_{u,n}^k = \{0,1\}$  при всех возможных порождающих событиях данного узла. Для узлов, не имеющих порождающих состояний, задается оценка маргинальной вероятности  $p(S_{u,n}^k)$ . Оценка  $p(S_{u,n}^k)$  вероятности того, что переменная  $S_{u,n}^k$  принимает значение 1 после первых  $v$  из  $V$  наблюдений будет вычисляться по формуле аддитивного сглаживания

$$\tilde{p}_v = \frac{S_v + \alpha}{v + 2\alpha}, \quad v = 0, \dots, V, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – произвольный коэффициент сглаживания,  $S_v$  – число тех наблюдений из  $v$ , в которых  $S_{u,n}^k$  принимала значение 1.

При любом числе наблюдений  $V$  оценка по рекуррентному соотношению

$$\begin{aligned} \tilde{p}_0 &= 0,5, \\ \tilde{p}_v &= \frac{\tilde{p}_{v-1} \cdot (v-1 + 2 \cdot \alpha) + E_v}{v + 2 \cdot \alpha}, \quad v = 0, \dots, V, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $E_v$  – значение  $S_{u,n}^k$  в  $v$ -м наблюдении, совпадает с оценкой аддитивного сглаживания.

Это позволяет построить алгоритм рекуррентного оценивания и пошагового обновления значений параметров БСД с булевыми случайными элементами:

Шаг 1. Ввод исходных данных.

Шаг 2. Полагаем  $n=1, v=0, w=0, \omega=0$ .

Шаг 3. Присвоить  $(\tilde{p}_R)_0 = 0,5, (\tilde{p}_S^{(1)})_0 = 0,5, (\tilde{p}_S^{(0)})_0 = 0,5$ .

Шаг 4. Если  $S_{u,n}^k = 1$ , перейти на шаг 5. Если нет, перейти на шаг 6.

Шаг 5. Присвоить  $(E_R)_v = 1 \wedge \vee (E_S)_w = 1 \wedge \vee (E_S)_\omega = 1$ . Перейти на шаг 9.

Шаг 6. Если  $S_{u,n}^k = 0$ , перейти на шаг 7. Если нет, перейти на шаг 8.

Шаг 7. Присвоить  $(E_R)_v = 0 \wedge \vee (E_S)_w = 0 \wedge \vee (E_S)_\omega = 0$ . Перейти на шаг 9.

Шаг 8. Присвоить  $(E_S)_w = (\tilde{p}_S^{(1)})_{w-1} \wedge \vee (E_S)_\omega = (\tilde{p}_S^{(0)})_{\omega-1}$ .

Шаг 9. Присвоить  $v = v + 1$ .

Шаг 10. Вычислить  $(\tilde{p}_R)_v$ .

Шаг 11. Присвоить  $w = w + 1 \wedge \vee \omega = \omega + 1$ .

Шаг 12. Вычислить  $(\tilde{p}_S^{(1)})_w \wedge (\tilde{p}_S^{(0)})_\omega$ .

Шаг 13. Присвоить  $n = n + 1$ .

Шаг 14. Если  $n > N$ , перейти на шаг 15. Если нет, перейти на шаг 12.

Шаг 15. Если получено очередное значение  $S_{u,n}^k$  в наблюдении, перейти на шаг 4. Если нет, перейти на шаг 16.

Шаг 16. Выдача результата решения.

Установлено, что полученная оценка является состоятельной, асимптотически несмещенной, всегда отлична от нуля, минимизирует апостериорный байесовский риск и средний квадрат ошибки. Использование оценки  $\tilde{p}_v$  предполагает, что случайная величина  $S_{u,n}^k$  имеет бета-распределение с некоторыми параметрами  $\alpha$  и  $\beta$ , т.к. никакой априорной информацией о распределении случайной величины  $S_{u,n}^k$  может не существовать.

Критерием окончания работы алгоритма является стабилизация значений оценок параметров или прекращение поступления свидетельств (наблюдений). Результатом работы алгоритма является набор установленных значений оценок всех параметров БСД.

Полученные оценки параметров сети в интеллектуальной СППР используются в качестве априорных оценок для апостериорного оценивания условных вероятностей переменных сети. В процессе апостериорного оценивания, когда узел  $S_{u,n}^k$  БСД активируется для расчета условной вероятности, он одновременно получает векторное сообщение  $\pi_{S_n}(S_{u,q}^k)$  от родительского узла  $S_{u,q}^k$  и векторные сообщения  $\lambda_{S_g}(S_{u,n}^k)$  от каждого из дочерних узлов  $S_{u,g}^k$ ,  $g = \overline{1, N}$ ,  $g \neq q, n$ ,  $S_{u,n}^k \in I(S_{u,g}^k)$ . При этом вычисляется новое сообщение  $\lambda_{S_n}(S_{u,q}^k)$ , которое посылается родительскому узлу  $S_{u,q}^k$

$$\lambda_{S_n}(S_{u,q}^k) = \sum_{S_n} \lambda(S_{u,n}^k) \cdot p(S_{u,n}^k / S_{u,q}^k) , \quad (5)$$

$$\lambda(S_{u,n}^k) = \prod_g \lambda_{S_g}(S_{u,n}^k) , \quad (6)$$

а также набор сообщений  $\pi_{S_g}(S_{u,n}^k)$ , которые посылаются каждому из узлов  $S_{u,g}^k$

$$\pi_{S_g}(S_{u,n}^k) = \theta \cdot \pi(S_{u,n}^k) \prod_{e \neq g} \lambda_{S_e}(S_{u,n}^k) , \quad (7)$$

$$\pi(S_{u,n}^k) = \sum_{S_q} p(S_{u,n}^k / S_{u,q}^k) \cdot \pi_{S_n}(S_{u,q}^k) , \quad (8)$$

где  $\theta$  – нормирующий фактор, который вычисляется из равенства  $\sum_{S_n} \pi_{S_g}(S_{u,n}^k) = 1$ .

Таким образом, происходит распространение вероятностной информации через промежуточный узел  $S_{u,n}^k$ . Для каждой вершины

ориентированного БСД, не получившего свидетельство, в качестве  $\lambda(S_{u,n}^k)$  используется единичный вектор. Для каждого узла  $S_{u,n}^k$ , получившего свидетельство о том, что он принял  $g$ -е значение, в качестве  $\lambda(S_{u,n}^k)$  используется вектор с "1"  $g$ -й позиции и "0" в остальных. Для корневого узла  $R$  в качестве  $\pi_R$  используется его маргинальная вероятность.

Для БСД с булевыми случайными элементами в интеллектуальной СППР все рассмотренные векторные величины являются двумерными, т.е., при получении набора свидетельств  $E$  о значениях переменных сети, каждый

узел  $S_{u,n}^k$  сети передает двумерное векторное сообщение  $\lambda_{S_n}(S_{u,q}^k) = \begin{pmatrix} \lambda_{S_n \rightarrow S_q}^{(1)} \\ \lambda_{S_n \rightarrow S_q}^{(0)} \end{pmatrix}$

своему родителю  $S_{u,q}^k$  и скалярные сообщения – первые компоненты векторов

$\pi_{S_g}(S_{u,n}^k)$  – каждому из своих детей или каждый узел сети  $S_{u,n}^k$  получает

сообщение от своего родителя  $S_{u,q}^k$  и сообщения  $\begin{pmatrix} \lambda_{S_g \rightarrow S_n}^{(1)} \\ \lambda_{S_g \rightarrow S_n}^{(0)} \end{pmatrix}$  от каждого из своих

детей. Тогда апостериорная оценка условной вероятности для узла БСД выражается соотношением

$$p(S_{u,n}^k / E) = \frac{\lambda_{S_n}^{(1)} \cdot \pi_{S_n}}{\lambda_{S_n}^{(1)} \cdot \pi_{S_n} + \lambda_{S_n}^{(0)} \cdot (1 - \pi_{S_n})}, \quad (9)$$

где

$$\pi_{S_n} = \pi_{S_q \rightarrow S_n} \cdot p_S^{(1)} + (1 - \pi_{S_q \rightarrow S_n}) \cdot p_S^{(0)}; \quad (10)$$

$$\lambda_{S_n}^{(1)} = \prod_g \lambda_{S_g \rightarrow S_n}^{(1)}; \quad (11)$$

$$\lambda_{S_n}^{(0)} = \prod_g \lambda_{S_g \rightarrow S_n}^{(0)}, \quad (12)$$

а отправляемые узлом сообщения равны

$$\lambda_{S_n \rightarrow S_q}^{(1)} = \lambda_{S_n}^{(1)} \cdot p_{S_n}^{(1)} + \lambda_{S_n}^{(0)} (1 - p_{S_n}^{(1)}); \quad (13)$$

$$\lambda_{S_n \rightarrow S_q}^{(0)} = \lambda_{S_n}^{(1)} \cdot p_{S_n}^{(0)} + \lambda_{S_n}^{(0)} (1 - p_{S_n}^{(0)}) \quad (14)$$

и

$$\pi_{S_n \rightarrow S_g} = \frac{\pi_{S_n} \prod_{e \neq g} \lambda_{S_e \rightarrow S_n}^{(1)}}{\pi_{S_n} \prod_{e \neq g} \lambda_{S_e \rightarrow S_n}^{(1)} + (1 - \pi_{S_n}) \prod_{e \neq g} \lambda_{S_e \rightarrow S_n}^{(0)}}. \quad (15)$$

Это позволяет построить алгоритм апостериорного оценивания вероятностей в процессе рекурсивного обхода БСД:

Шаг 1. Ввод исходных данных.

Шаг 2. Если получено свидетельство о принятии переменной  $S_{u,n}^k$  значения 1 или 0, перейти на шаг 3. Если нет, перейти на шаг 6.

Шаг 3. Если получено свидетельство о принятии переменной  $S_{u,n}^k$  значения 1, перейти на шаг 4. Если нет, перейти на шаг 5.

Шаг 4. Присвоить значения  $\lambda_{S_n}^{(1)} = 1 \wedge \lambda_{S_n}^{(0)} = 0$ . Перейти на шаг 7.

Шаг 5. Присвоить значения  $\lambda_{S_n}^{(1)} = 0 \wedge \lambda_{S_n}^{(0)} = 1$ . Перейти на шаг 7.

Шаг 6. Присвоить значения  $\lambda_{S_n}^{(1)} = 1 \wedge \lambda_{S_n}^{(0)} = 1$ .

Шаг 7. Отправка сообщения, выражения (13), (14) родительскому узлу  $S_{u,q}^k$  от узла  $S_{u,n}^k$ .

Шаг 8. Вычисление величин, выражения (11), (12).

Шаг 9. Присвоить  $\pi_R = (\tilde{p}_R)_v$ .

Шаг 10. Вычисление  $p(R/E) = \frac{\lambda_R^{(1)} \cdot \pi_R}{\lambda_R^{(1)} \cdot \pi_R + \lambda_R^{(0)} \cdot (1 - \pi_R)}$ .

Шаг 11. Отправка сообщения, выражение (15) дочернему узлу  $S_{u,g}^k$  от родительского узла  $S_{u,n}^k$ .

Шаг 12. Вычислить  $\pi_{S_n} = \pi_{S_q \rightarrow S_n} \cdot p_S^{(1)} + (1 - \pi_{S_q \rightarrow S_n}) \cdot p_S^{(0)}$ .

Шаг 13. Вычислить  $p(S_{u,n}^k / E) = \frac{\lambda_{S_n}^{(1)} \cdot \pi_{S_n}}{\lambda_{S_n}^{(1)} \cdot \pi_{S_n} + \lambda_{S_n}^{(0)} \cdot (1 - \pi_{S_n})}$ .

Шаг 14. Присвоить  $n = n + 1$ .

Шаг 15. Если  $n > N$ , перейти на шаг 16. Если нет, перейти на шаг 11.

Шаг 16. Выдача результата решения.

Результатом работы алгоритма является набор значений условных вероятностей  $p(S_{u,n}^k / S_{u,q}^k)$ ,  $n, q = \overline{1, N}$ ,  $n \neq q$ ,  $S_{u,q}^k \in I(S_{u,n}^k)$ , вычисленных для каждого узла БСД, не получившего свидетельство. В процессе работы в интеллектуальную СППР регионального СЦ поступают свидетельства о значениях наблюдаемых переменных сети  $S_{u,n}^k$  и согласно алгоритму на каждом шаге производится обновление условных вероятностей в соответствии с полученными данными, что в целом формирует вероятностную картину скрытых переменных БСД.

Описаны основные процедуры алгоритма. Осуществлена проверка его основных свойств: результативности, точности, элементарности, корректности, вычислительной сложности и сложности алгоритма по памяти.

Практическая значимость разработанного алгоритма заключается в возможности его применения для решения задач интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в регионе.

**В четвертой главе** представлены архитектура подсистемы оценки риска техногенного характера в интеллектуальной СППР регионального СЦ.

Комплекс алгоритмов реализован в виде автоматизированной системы оценки риска техногенного характера (АС ОРТХ), предназначенной для использования в региональных ситуационных центрах (рис.6). Данные центры решают задачи по сбору данных, хранению, обработке и анализу, подготовке вариантов решений, доведению документов и решений до исполнителей и контролю их исполнения при интеллектуальной поддержке принятия управленческих решений в регионе.

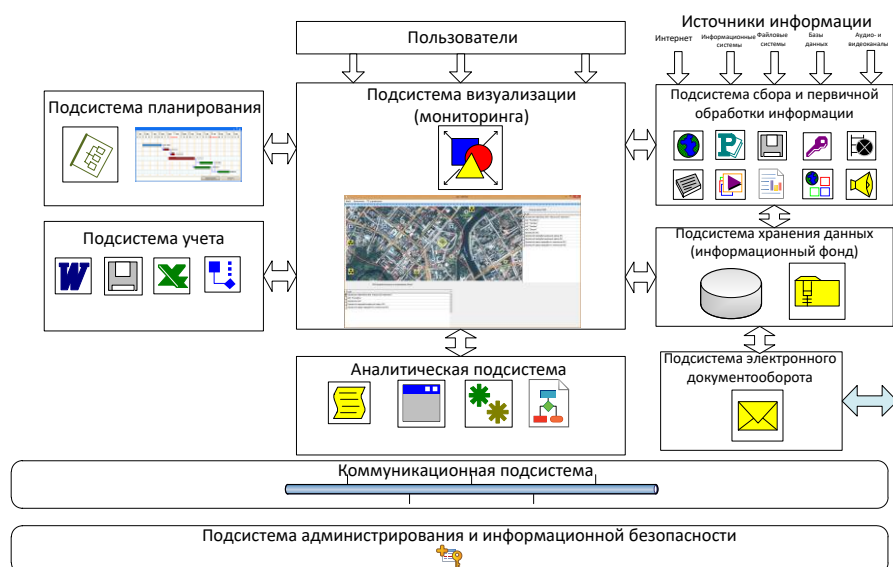


Рисунок 6 – Структурная схема функциональных подсистем регионального СЦ

Разработанная АС ОРТХ внедрена в подсистему оценки риска угроз, которая является элементом аналитической подсистемы (АПС). Данная АПС представляет собой программный комплекс, осуществляющий решение различных расчетных задач, связанных в том числе с оценкой риска угроз (техногенного, природного, социального характера) населению, распределением ресурсов, определением оптимальных маршрутов передвижения физических лиц в регионе.

Функционально АС ОРТХ состоит из информационной, аналитической и интеллектуальной подсистем, представленных на рисунке 7.

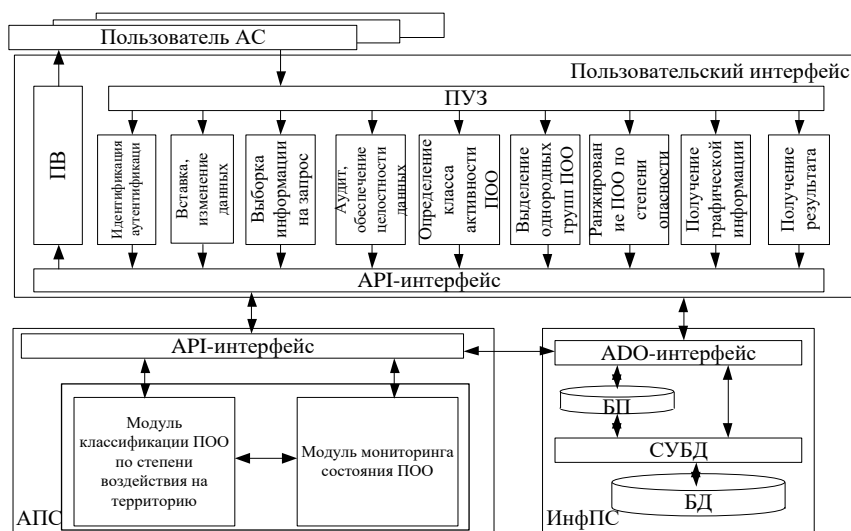


Рисунок 7 – Структурная схема АС ОРТХ

Исследование характеристик эффективности интеллектуальной СППР регионального СЦ при оценке риска техногенных угроз осуществлялась на основе показателей достоверности и оперативности. Для оценки оперативности использована вероятность того, что в региональном СЦ время



оценки риска техногенных угроз от потенциально опасных объектов не превысит допустимое.

Таблица 1. Оценка результатов верификации

Свойство	Показатель	Результат
Достоверность	$P(N_{\text{ош.}} \leq 5) \geq 0,900$	$P(N_{\text{ош.}} \leq 5) \geq 0,951$
Оперативность	$P(T_{\text{ор}} \leq 3 \text{ мин}) \geq 0,950$	$P(T_{\text{ор}} \leq 3 \text{ мин}) \geq 0,966$

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы по работе.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ РАБОТЫ

1. Поставлена и решена научная задача по разработке технических решений для интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений в региональных ситуационных центрах по выявлению опасности и количественной оценке риска на потенциально опасных объектах.

2. Проанализированы основные направления инструментальной поддержки принятия управленческих решений в регионах. Установлена взаимосвязь между эффективностью информационной интеллектуальной поддержки управленческой деятельности ОГВ и своевременностью, достоверностью и полнотой предоставляемой информации.

3. Разработан метод оценки состояния потенциально опасного объекта в интеллектуальной СППР регионального СЦ, в частности, предложена человека-машинная процедура, снижающая размерность исходных данных о вероятности возникновения неблагоприятных событий на потенциально опасном объекте, полученных из различных источников: паспорт объекта, баз данных Ростехнадзора и результатов экспертных опросов, а также сценарное описание признакового пространства в интеллектуальной СППР регионального СЦ, на основе аппарата байесовских сетей доверия, позволяющая исследовать процессы возникновения и развития неблагоприятных событий техногенного характера на потенциально опасных объектах с учетом хронологии появления неблагоприятных событий.

4. Разработана методика оценки риска техногенных угроз от потенциально опасных объектов в интеллектуальной СППР регионального СЦ, включающая в себя алгоритм рекуррентного оценивания значений параметров БСД, позволяющий выполнить последовательное обновление значений параметров в сети и алгоритм апостериорного оценивание вероятностей неблагоприятных событий на ПОО в процессе рекуррентного обхода дерева БСД.

5. Разработана подсистема оценки риска техногенного характера региональных СЦ, включающая в себя комплекс программ, основанная на разработанном методе и методике и позволяющая повысить оперативность принятия управленческих решений в регионе.

6. Применение разработанного методологического аппарата в составе интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений регионального ситуационного центра позволило осуществлять в режиме реального времени непрерывную оценку состояний ПОО региона.

7. Полученные количественные значения риска техногенных угроз являются основой для реализации функций и решения задач управления силами и средствами обеспечения техногенной безопасности в регионе.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук:*

1. **Макеев, С. М.** Математическая модель воздействия неблагоприятных событий техногенного характера на физическое лицо / С. М. Макеев // Ученые записки Орловского государственного университета. – 2015. – №4(67). – С. 48–52.

2. **Макеев, С. М.** Анализ и моделирование процесса выбора положения для транспортировки пострадавшего на основе байесовских сетей доверия / А. И. Мотиенко, С. М. Макеев, О. О. Басов // Труды СПИИРАН. – 2015. – № 6(43). – С. 135–153.

3. **Макеев, С. М.** Применение человеко-машинной процедуры поиска решения в информационно-аналитических системах / С. М. Макеев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 2. – С. 142–149.

4. **Макеев, С. М.** Методика оценки риска техногенных угроз на потенциально опасных объектах региона / С. М. Макеев // Экономика и менеджмент систем управления. – 2017. – № 1.1(23). – С. 167–172.

*В других изданиях:*

5. **Макеев, С. М.** Постановка задачи оценки индивидуального риска техногенных угроз / Б. И. Соловьев, С. М. Макеев // Актуальные проблемы развития технологических систем государственной охраны, специальной связи и специального информационного обеспечения: VIII Всероссийская межведомственная научная конференция: материалы и доклады (Орёл, 13–14 февраля 2013 г.). В 10 ч. Ч. 8 / под общ. ред. В. В. Мизерова. – Орёл: Академия ФСО России, 2013. – 139 с. – С. 90–92.

6. **Макеев, С. М.** Алгоритм определения безопасного местоположения физического лица от потенциально опасных объектов / С. М. Макеев //

Научная сессия ТУСУР – 2014: Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: материалы (Томск, 14-16 мая 2014 г.). В 5 ч. Ч. 4. – Томск: В-Спектр, 2014. – 306 с. – С. 277–279.

7. **Макеев, С. М.** Автоматизированная система расчета оптимального маршрута движения с учетом возможных рисков / С. М. Макеев, М. В. Олешко // Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд государственного управления: IX Всероссийская межведомственная научная конференция: материалы и доклады (Орёл, 11–12 февраля 2015 г.). В 12 ч. Ч. 10 / под общ. ред. В. В. Мизерова. – Орёл: Академия ФСО России, 2015. – 181 с. – С. 131–134.

8. **Макеев, С. М.** Применение вероятностных моделей для решения функциональных задач ситуационных центров / Б. И. Соловьев, С. М. Макеев // Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд органов государственной власти Российской Федерации: X Всероссийская межведомственная научная конференция: материалы и доклады (Орёл, 7–8 февраля 2017 г.). В 11 ч. Ч. 10 / под общ. ред. В. В. Мизерова. – Орёл: Академия ФСО России, 2017. – 205 с. – С. 40–42.

*Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:*

9. **Макеев, С. М.** Учет опасных объектов техногенного характера / С. М. Макеев, П. О. Куркович // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2013618522 от 10.09.2013 г.

10. **Макеев, С. М.** Автоматизированная система оценки риска техногенных угроз в субъекте РФ (IDS RISKOG) / С. М. Макеев, Б. И. Соловьев, А. Д. Шаталов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615277 от 14.05.2015 г.

11. **Макеев, С. М.** Автоматизированная система определения оптимального маршрута движения с учетом возможных рисков / С. М. Макеев, М. В. Олешко, И. А. Сенотрусов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615323 от 15.05.2015 г.

12. **Макеев, С. М.** Автоматизированная система интерактивной оценки риска техногенных угроз населению в субъекте РФ / С. М. Макеев, Б. И. Соловьев, А. Ю. Бутиков, В. В. Глездов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2016615632 от 26.05.2016 г.

---

Подписано в печать \_\_. \_\_. 2017. Формат 29,7x42/4.

Усл. печ. л. 1,09. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_.

---