

*На правах рукописи*

**Каратаева Таисия Владимировна**

**МОДЕЛИ И МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ИНВЕСТИЦИОННЫМИ РИСКАМИ В СТРО-  
ИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ**

**Специальность 05.13.10 – управление в социальных и  
экономических системах**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Воронеж – 2009

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении  
высшего профессионального образования Воронежский  
государственный архитектурно-строительный университет

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, доцент  
**Белоусов Вадим Евгеньевич**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Работкина Ольга Евгеньевна**

кандидат технических наук  
**Иващенко Андрей Александрович**

**Ведущая организация:** **Военный авиационный университет  
(Воронеж)**

Защита диссертации состоится 27 октября 2009 г. в 12<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.033.03 при Воронежской государственной лесотехнической академии по адресу:  
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ауд. 3220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежской государственной лесотехнической академии.

Автореферат разослан « 27» сентября 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В России по данным Управления информации МЧС РФ ежедневный материальный ущерб от пожаров составляет 11,5 млн. рублей, так в 2003 году материальный ущерб от возгораний достиг 3 млрд. 491,9 млн. рублей. На территории страны было зафиксировано более 194 тыс. пожаров, в которых погибли свыше 14,8 тыс. человек, в том числе 617 детей.

Правительство Российской Федерации постоянно принимает меры направленные на снижение числа пожаров, их предупреждение и минимизации последствий от их возникновения. К числу таких мер можно отнести: превентивные меры по снижению рисков и уменьшению масштабов пожаров, осуществляемые заблаговременно противопожарной службой региона (ПСР); меры по локализации (ликвидации) уже возникших пожаров (экстренное реагирование, т.е. аварийно-спасательные и другие неотложные работы, восстановительные работы, реабилитационные мероприятия и возмещение ущерба); добровольное и обязательное страхование ответственности потенциально опасных объектов (ПОО) за возможный ущерб экологии региона от пожаров; существенное наращивание сил и средств государственной противопожарной службы и других подразделений МЧС РФ и органов государственной власти на местах.

Однако, несмотря на принятые меры, наблюдается устойчивый рост пожаров на потенциально опасных объектах РФ сопровождающийся гибелью людей. С 1965 года гибель людей на пожарах выросла в 10 раз. Россия по абсолютному значению и относительным показателям гибели на 1 млн. населения, на 1 тыс. пожаров уже давно обогнала все страны. При этом самих пожаров на ПОО Единая государственная система учета пожаров и ведомственного учета фиксирует меньше чем в 2001 году (пик пожаров в РФ за все время наблюдений) - на 18% сократилось число пожаров в зданиях производственного назначения, но если учесть, что за этот период число самих ПОО по данным Федеральной службы государственной статистики уменьшилось на 17%, то картина складывается удручающая. Значительно вырос по сравнению с 2003 годом (почти в 2,5 раза) прямой материальный ущерб народному хозяйству РФ и в 2007 году составил 8551,2 млн. руб. (ущерб от пожаров в России в действующих ценах с 1987 года вырос почти в 9000 раз).

За прошлый год пожарная охрана России выполнила более 2,2 млн. выездов оперативных расчетов, из них более 500 тыс. машин выполняли тушение 246 тыс. пожаров, на анализе которых впоследствии и строится статистика пожаров, предлагаемая общественности и органам власти различных уровней. Поэтому ПСР вынуждена все больше ресурсов сосредотачивать в конкретном регионе для предупреждения последствий будущих вероятных пожарах на ПОО. При этом зачастую прогнозирование пожаров на ПОО подменяется статистическим частотами возникновения пожаров за предыдущие годы, однако подобная модель не учитывает значительное количество фактов и построенная на ее основе оценка рисков не является адекватной. Уже на 2008 год МЧС РФ прогнозирует увеличение по стране пожаров на ПОО.

Только административные меры по тотальным проверкам ПОО со стороны инспекторов ПСР не дали желаемых результатов и в 2007 году МЧС РФ вынуждено было даже сократить значительное число сотрудников. Страхование ПОО не стало на данный момент значительным механизмом, обеспечивающим снижение пожаров в силу следующих факторов: под действие Федерального закона "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" и Правил страхования подпадает только часть опасных объектов; правила регулируют процедуру страховых выплат таким образом, что возмещение ущерба осуществляется только по суду, причем третью сторону (пострадавших) представляет страховщик. Добиться минимизации ущерба от пожара также не получается, т.к. система классификации ПОО не учитывает риски, определенные их реальным состоянием.

Таким образом, существующая система управления рисками на ПОО со стороны ПСР не может решить главную задачу – добиться существенного снижения пожаров на ПОО и гибели людей, а также минимизации ущерба, а ресурсная часть ПСР постоянно вынуждена увеличиваться, т.к. статистика пожаров неуклонно растет. Поэтому изыскание новых научных подходов к решению задачи минимизации рисков ПОО со стороны ПСР при одновременном сокращении ресурсов самой службы является актуальным в научном и практическом плане.

Основные исследования, получившие отражение в диссертации, выполнялись по планам научно-исследовательской работы:

- федеральная комплексная программа «Исследование и разработки по приоритетным направлениям науки и техники гражданского назначения»;
- госбюджетная научно – исследовательская работа «Разработка и совершенствование моделей и механизмов внутрифирменного управления».

**Цель исследования** заключается в разработке и исследовании моделей и механизмов управления рисками потенциально опасных объектов противопожарной службой региона, обеспечивающих повышение уровня безопасности таких объектов с одновременным снижением ресурсов за счет интеллектуальной поддержки процесса управления.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих **основных задач**:

- проанализировать существующие системы управления рисками на потенциально опасных объектах для противопожарной службы региона;
- разработать и обосновать модель взаимодействия ПОО и ПСР с целью определения рисков возникновения пожаров для любого момента времени;
- синтезировать модель классификации потенциально опасных объектов для определения степени их потенциальных техногенных и экологических угроз;
- сформировать механизм прогнозирования состояний потенциально опасных объектов позволяющий принимать своевременные предупредительные ПСР;
- разработать механизм анализа состояний ПОО;

- сформировать модель и алгоритм функционирования системы управления рисками ПОО со стороны ПСР;
- провести экспериментальные исследования предложенной структуры СУРПОО, проанализировать результаты и получить оптимальный вариант.

**Методы исследования.** В работе использованы методы моделирования организационных систем управления, распознавания объектов, системного анализа, теории игр, динамики средних, теории вероятности, теории принятия решений, искусственного интеллекта.

**Научная новизна.** В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. синтезирована модель взаимодействия ПОО и ПСР позволяющая определять риски возникновения пожара в любой момент времени с целью за счет применения аппарата марковских цепей и алгоритма нахождения кратчайшего маршрута Дейкстры;
2. получена модель классификации ПОО позволяющая на основе методов численной таксономии определять их потенциальный техногенный и экологический ущерб;
3. разработан механизм прогнозирования состояний ПОО, который на основе метода имитационного моделирования позволяет планировать предупредительные меры к ПОО, имеющими высокорисковые значения по пожарной опасности;
4. сформирован механизм анализа состояния ПОО обеспечивающий адекватную реакцию ПСР на увеличение риска от запланированных показателей за счет использования аппарата искусственного интеллекта.
5. разработана модель и алгоритм функционирования системы управления рисками ПОО со стороны ПСР, позволяющие уменьшить выделяемые для предупреждения и ликвидации пожаров ресурсы за счет использования игровых методов обоснования решений.

**Достоверность научных результатов.** Научные положения, теоретические выводы и практические рекомендации, включенные в диссертацию, обоснованы математическими доказательствами. Они подтверждены расчетами на примерах, производственными экспериментами и многократной проверкой при внедрении в практику управления.

**Практическая значимость и результаты внедрения.** На основании выполненных исследований синтезированы модели и механизмы обеспечивающие управление рисками возникновения пожаров на потенциально опасных объектах на основе предупреждения нежелательных ситуаций а также минимизацию ресурсов противопожарной службы региона на выполнение запланированных задач за счет интеллектуальной поддержки их деятельности.

Использование разработанных в диссертации моделей и механизмов позволяет многократно применять разработки, тиражировать их и осуществлять их массовое внедрение с существенным сокращением продолжительности трудозатрат и средств.

Разработанные модели используются в практической деятельности Воронежского пожарно-технического училища (ВПТУ МЧС).

Модели и механизмы включены в состав учебного курса «Информационные технологии безопасности жизнедеятельности», в Воронежском государственном архитектурно-строительном университете.

**На защиту выносятся:**

- модель взаимодействия ПОО и ПСР;
- модель классификации ПОО;
- механизм прогнозирования состояний ПОО;
- механизм анализа состояния ПОО;
- модель и алгоритм функционирования СУРПОО.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований и научных разработок докладывались и обсуждались на конференциях: международной научно-практической конференции «Образование, наука, производство и управление» (Старый Оскол, СТИ МИСиС, 2006 г.) и международной научной конференции «Сложные системы управления и менеджмент качества» (Старый Оскол, СТИ МИСиС, 2007 г.), международной научно - технической конференции «Наука и технологии Актуальные проблемы (9-14 апреля Ставрополь, 2007).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ общим объемом 131 страницы (лично автором выполнено 103 с).

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, состоит в следующем: в работах [1], [3] автором разработана модель системы управления рисками на потенциально опасных объектах; в работе [7] автору принадлежит модель классификации рисков потенциально опасных объектов; в работе [4] автор предлагает модель анализа состояний рисков потенциально опасных объектов; в работах [2], [5], [6], [8], [9] автором предложен механизм прогнозирования рисков для потенциально опасных объектов и модель системы управления рисками.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Она содержит 156 страниц основного текста, 22 рисунка, 15 таблиц и приложения. Библиография включает 146 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновываются актуальность, описываются цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** проанализированы существующие варианты систем управления рисками на потенциально опасных предприятиях, дается классификация таких рисков, определяются механизмы анализа состояний рисков и способы их корректировки с целью приведения к требуемым параметрам, а также меры для минимизации последствий наступившей чрезвычайной ситуации. В соответствии с классификацией МЧС РФ пожары отнесены к чрезвычайным ситуациям техногенного характера важными особенностями кото-

рых являются многообразие и неповторимость их проявления, динамика которых может быть условно представлена в виде ряда типовых стадий развития (предварительная, первая, вторая и третья): на предварительной стадии возникновения пожара образуются и нарастают предпосылки к возникновению бедствия, накапливаются отклонения от нормального состояния или процесса; на первой стадии происходит инициирование техногенного бедствия и последующее развитие процесса пожара, во время которого оказывается воздействие на людей, объекты инфраструктуры и природную среду; на второй стадии осуществляется ликвидация пожара, причем ликвидация пожара заканчивается, как правило, с переходом пострадавшего объекта, его хозяйственных и социальных структур и населения на повседневный режим жизнедеятельности; на третьей стадии осуществляется ликвидация долговременных последствий пожара. Оценить уровень риска ПОО – значит определить вероятность возникновения пожара от самых различных причин, а также оценивать возможный ущерб для предприятия и региона в целом. Независимыми переменами, по которым оценивается риск ПОО, являются время и ущерб, а для оценки (прогноза) риска определяется частота пожаров и ущерб от них.

Для управления риском ПОО противопожарная служба региона должна проводить целенаправленную деятельность по реализации наилучшего из возможных способов уменьшения рисков до уровня, который общество считает приемлемым, исходя из существующих ограничений на ресурсы и время. Рассмотрим существующую модель управления рисками ПОО противопожарной службой региона.

Пусть  $P_p = P_p(u)$  - вероятность возникновения пожара, которые могут обладать одним или несколькими экологическими эффектами, поражающее действие которых характеризуется, в свою очередь, соответствующими экологическими факторами.

Количественной характеристикой повторяемости пожаров за тот или иной промежуток времени является частота событий  $\lambda$ , измеряемая как отношение числа этих событий  $N$  к соответствующим промежуткам времен  $T$ :

$$\lambda = \frac{N}{T}$$

При заданной величине интенсивности появления событий  $\lambda$  распределение времен между появлением таких событий описывается распределением Пуассона:

$$\phi(t) = \lambda \exp(-\lambda t);$$

Вероятность того, что в течение времени  $T$  наступит хотя бы одно событие, определяется в соответствии со следующим соотношением:

$$P_p = \int_0^t \phi(t) dt = \lambda \int_0^t \exp(-\lambda t) dt = 1 - \exp(-\lambda t);$$

Поскольку при производстве продукции риск возникновения пожара характеризуется вероятностью меньшими единицы, то:

$$P_p = 10^{-n_0}$$

Обычно  $n_0$  варьируется от 3 до 9. Для расчета вероятности пожаров на ПОО показатель  $n_0$  подчиняется условиям:

$$3,5 < n_0 < 8$$

Все вышесказанное о вероятности возникновения пожара  $P$  относится к вероятности его начала, а далее развитие может идти по нескольким сценариям, составляющим полную группу несовместимых событий, т. е.

$$\sum_i P_c^i = 1$$

где  $P_c^i$  - вероятность развития событий по  $i$ -му сценарию. Кроме того, поражающие факторы, возникающие в результате развития пожара, могут привести к появлению источников пожаров на других объектах, связанных, например, со взрывами взрывоопасных объектов под действием теплового излучения пожара, нарушением защиты объектов, содержащих токсичные вещества, под действием ударной волны взрыва и т. д.

Тогда, обозначая через  $P_b^j$  - вероятность вторичного пожара на  $j$ -м объекте, получаем, что вероятность реализации  $j$ -го сценария развития пожара с инициированием  $j$ -го вторичного источника опасности будет иметь вид:

$$P_p^{ij} = P_p * P_c^i * P_b^j$$

Тогда для выражения риска на ПОО используются понятия индивидуального и группового риска.

К сожалению методический и модельный аппарат для прогнозирования рисков возникновения пожаров разработаны и внедрены только для лесных массивов и практически не применяются для ПОО, а подход, основанный на расчете частот возникновения пожаров дает значительные ошибки в распределении ресурсов противопожарной службы.

Управление риском возникновения пожара на ПОО проводится ПСР по следующим направлениям: определив вероятность возникновения пожара, находят класс для рисков ПОО, затем планируют комплекс мероприятий по снижению (в случае необходимости) уровня риска: проверки пожарной безопасности с выдачей предписания на устранение недостатков, страхование ответственности за ущерб от пожара, выдача требования сертификации оборудования и проведения экспертизы промышленной безопасности; проверки готовности внештатных пожарных команд ПОО к действиям в условиях чрезвычайной ситуации. Однако, только действиями ПСР невозможно выполнить весь комплекс данных задач, а уж проведение непрерывного мониторинга становится неподъемной задачей и требует непрерывного увеличения ресурсов противопожарной службы региона. Необходимы модели и механизмы, побуждающие собственников ПОО снижать риски возникновения пожаров.

Необходимо решение следующих задач: разработать и обосновать модель взаимодействия ПОО и ПСР и позволяющую определять риски возникновения пожара в любой момент времени; получить модель классификации ПОО позволяющую на основе методов численной таксономии определять их потенциальный техногенный и экологический ущерб; синтезировать механизм прогнозирования состояний ПОО, который на основе метода имитации

онного моделирования позволяет планировать предупредительные меры к ПОО, имеющими высокорисковые значения по пожарной опасности; разработать механизм анализа состояния ПОО обеспечивающий адекватную реакцию ПСР на увеличение риска от запланированных показателей за счет использования аппарата искусственного интеллекта; разработать модель и алгоритм функционирования системы управления рисками ПОО со стороны ПСР, позволяющие уменьшить выделяемые для предупреждения и ликвидации пожаров ресурсы за счет использования игровых методов обоснования решений.

**Во второй главе** рассматривается задача разработки математической модели для системы управления рисками потенциально опасного объекта противопожарной службой региона.

В первом параграфе описывается модель взаимодействия ПОО и ПСР с целью определения риска возникновения пожара. Для этого воспользуемся аппаратом Марковских цепей. Для описания отдельных элементов сценариев развития пожаров, как элементов чрезвычайных ситуаций и связанных с ним понятий и моделей введем следующие понятия: фактор техногенного риска назовем нежелательное состояние производственного объекта (пожар); событие ЧС - реализация факторов риска и действий ПСР по противодействию ЧС; обстановка  $I(t)$  на момент времени  $t$  - ситуация  $S(t)$ , дополненная информацией об имеющихся в распоряжении ПСР ресурсах, о понесенных потерях, об ожидаемых поступлениях ресурсов и о принятых управленческих решениях; сценарий  $R$  развития ЧС - процесс изменения обстановки в дискретном временном пространстве ( $R=R \{ I(t_j) | j=0,1,\dots,u \}$ ); временный шаг сценария  $\tau_i$  - интервал времени между двумя соседними точками изменения обстановки:  $\tau = t_{i+1} - t_i$ ; фрагмент сценария в момент времени  $t_i$  - набор событий и взаимосвязей между ними, реализуемых от  $t_{i-1}$  до  $t_i$ . (позволяет отразить процесс развития ЧС за определенный интервал времени, оперативно анализировать ситуации и их взаимосвязи в целях принятия решений для эффективной организации противодействия, а также формировать и планы действий).

В общем случае, сценарии развития ЧС можно представить в виде графа событий и взаимосвязей между ними. Вершинам и дугам сценария могут быть приписаны веса, отражающие их вероятностные и временные характеристики. Представим процессы протекающие в ПОО через схему марковского случайного процесса с дискретным состоянием и непрерывным временем (рис. 1).

Представленный график состояний ПОО описывается следующими характеристиками:  $S_1$  - состояние ПОО устойчиво (пожар маловероятен);  $S_2$  - состояние ПОО неустойчиво (пожар вероятен по причинам несоблюдения требований законодательства, изношенности оборудования и т.д.);  $S_3$  - происходит пожар на ПОО (различной степени тяжести в зависимости от класса установленного МЧС РФ);  $S_4$  - устранение последствий пожара;  $\lambda_{ij}$  - плотности вероятности перехода ПОО из одного состояния в другое.

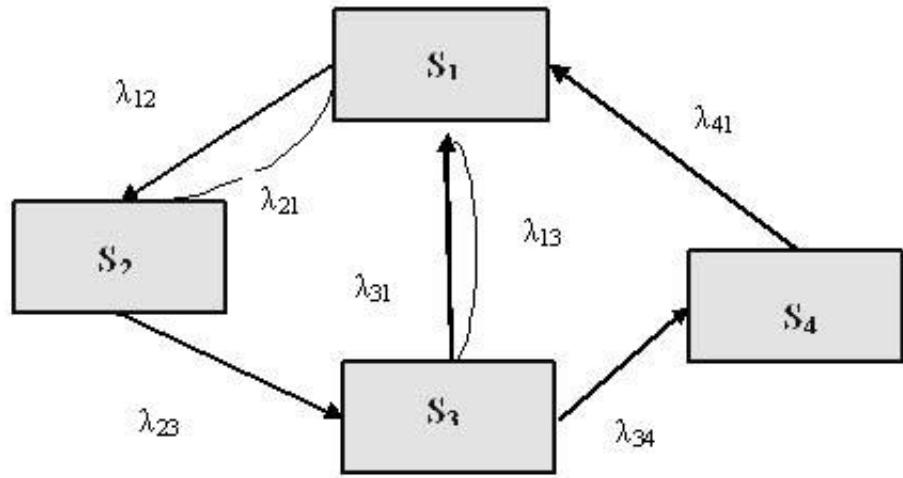


Рисунок 1- Представление ПОО в виде непрерывной марковской цепи

Тогда в соответствии с правилами формирования уравнений Колмогорова можно записать следующие зависимости для вероятностей состояний ПОО:

$$\begin{aligned}
 \frac{dp_1}{dt} &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13})p_1 + \lambda_{21}p_2 + \lambda_{31}p_3 \\
 \frac{dp_2}{dt} &= -(\lambda_{21} + \lambda_{23})p_2 + \lambda_{12}p_1 + \lambda_{32}p_3 \\
 \frac{dp_3}{dt} &= -(\lambda_{31} + \lambda_{34})p_3 + \lambda_{23}p_2 + \lambda_{13}p_1 \\
 \frac{dp_4}{dt} &= \lambda_{41}p_4 - \lambda_{34}p_3
 \end{aligned} \tag{1}$$

Таким образом, получен помеченный граф для состояний ПОО. Однако плотности вероятности переходов в ПОО будут зависеть от воздействий, которые окажут ПСР. Тогда, добавляя к графу на рис.1 дуги различных весов, характеризующие степень задействованных ресурсов ПСР для получения желаемого состояния ПОО синтезируем неорграф. Описание такого графа произведем, задав матрицу весов  $W=(w_{ij})$ . Тогда для определения возможных состояний ПОО необходимо найти расстояние от вершины  $S_1$  до всех других вершин. При этом предполагаем, что в графе отсутствуют контуры с отрицательным весом. Требуется найти кратчайший путь между заданными вершинами  $S_1$  и  $S_j$ , то есть такую последовательность вершин  $u_1, u_2, \dots, u_n$ , что  $u_1 = S_1$ ,  $u_n = S_j$ ,  $\{u_i, u_{i+1}\} \in R$  (неупорядоченных пар  $\{v_i, v_j\}$  – ребер, каждому ребру приписывается число  $a_{ij}$ ):

$$u_1 = S_1, u_n = S_j, \{u_i, u_{i+1}\} \in R \text{ для } \forall 1 \leq i \leq n-1, \text{ и } \sum_{i=1}^n u_i \rightarrow \min \{u_i, u_{i+1}\} \tag{2}$$

**Шаг 1.** Каждой вершине припишем временный вес  $t(v_i) = \infty$ . Положим  $t(s) = 0$  и далее  $t(s)$  изменяться не будет, т.е.  $t(s)$  – постоянный вес вершины  $s$ . Положим  $v = s$ .

**Шаг 2.** Для всех вершин  $u = v_i$ , смежных с  $v$ , имеющих временный вес, изменяем вес по формуле:

$$t(u) = \min(t(u), t(v) + a[v][u]). \quad (3)$$

**Шаг 3.** Устанавливаем постоянный вес той вершины  $u$ , которая имеет наименьший временный вес. Положим  $v = u$ . Если  $v = S_j$ , то  $t(v)$  – длина кратчайшего пути из  $S_I$  в  $S_j$ . Если  $v \neq q$ , то переходим к шагу 2.

В результате работы алгоритма получим длину кратчайшего пути из  $S_I$  в  $S_j$ . Чтобы найти вершину и ребра, составляющие этот путь, нужно определить массив  $h[|V|]$ , где  $h[v]$  – вершина, предшествующая вершине  $v$  на кратчайшем пути, а в шаге 2 добавить операцию  $h[u] = v$ , в случае, когда  $t(u) > t(v) + a[v][u]$ . Можно получить кратчайшие пути от  $s$  ко всем другим вершинам, изменив условие остановки. Вычисления заканчиваются, когда все веса становятся постоянными. Данный алгоритм реализован в среде C++ (вычисления заканчиваются, когда все веса становятся постоянными). В тексте программы веса вершин записываются в массив  $t[v]$ . Для обозначения того, что для вершины  $v$  вес  $t[v]$  постоянный, вводится массив  $x[v]$ . Равенство  $x[v]=1$  будет означать, что  $t[v]$  – постоянный вес).

Рассмотренная модель позволяет описать взаимодействие ПОО и ПСР через помеченный граф, вероятности переходов которого можно определить через уравнения Колмогорова, а определить наиболее вероятный вектор воздействия возможно с помощью алгоритма Дейкстры.

Во втором параграфе рассмотрена модель классификации ПОО по уровням потенциальных и реальных (экологических) рисков объекта. Для проведения классификации необходима следующая информация: статистика об экологических авариях на данном предприятии за последние пять лет (по возможности, с указанием величины убытков, причиненных в результате аварийного загрязнения окружающей среды); данные об опасных веществах, которые производятся, используются, перерабатываются и хранятся на объекте; сведения об уровне применяемой технологии; сведения о состоянии природоохранного оборудования, о существующей на предприятии системе обеспечения безопасности; данные об износе основных фондов; данные о квалификации производственного персонала; информация о плотности населения в зоне возможного воздействия, месторасположении объекта и показателях метеорологической обстановки.

Тогда статистическая информация задается в виде матрицы "объект—признак". Пусть  $X = \{X^1, \dots, X^m\}$  – множество признаков. Каждый признак  $X^i \in X$  ( $i = 1, \dots, m$ ) имеет алфавит значений  $\text{dom } X^i = \{x_1^i, \dots, x_k^i\}$ . В матрице данных присутствуют ПОО некоторого выделенного класса  $A$  и ПОО других классов, которые будем обозначать через  $\bar{A}$ . Экспертная информация задается на множестве  $\text{dom } X^i$  значений каждого признака  $X^i$  по отношению к выделенному классу  $A$  с помощью графа  $G^i$  экспертных попарных предпочтений. Множеством вершин графа  $G^i$  является  $\text{dom } X^i$ . Дуга между вершинами  $x_l^i$  ( $l = 1 \dots k$ ) и  $x_p^i$  ( $p = 1 \dots k$ ) проводится тогда, когда с точки зрения эксперта наличие у ПОО значения  $x_l^i$  большей степени говорит о принад-

лежности этого ПОО к выделенному классу  $A$  чем наличие у этого объекта значения  $x_p^i$ .

Необходимо для любого тестируемого ПОО определить, к какому из классов ( $A$  или  $\bar{A}$ ) он относится. Рассмотрим алгоритм построения решающих правил распознавания, основанный на существенном использовании экспертной информации. Первый этап выполняется прямой проверкой распределения ПОО обучающей выборки на точки подпространства  $X_{i_1 \dots i_k}$ . Тогда совокупность неизвестных точек подпространства  $X_{i_1 \dots i_k}$  обозначим через  $\Delta$  и поочередно добавляем в множество проекций обучающей выборки в  $X_{i_1 \dots i_k}$ . Затем строится матрица попарных предпочтений  $R = \{r_{lp}\}_{l,p=1,n+1}$  между ПОО из множества - обучающая выборка, дополненная ПОО, который имеет координаты добавленной точки из  $\Delta$ . Пусть ПОО  $l$ , (любой из выбранных для упорядочения, в том числе и добавленный из  $\Delta$ ) имеет в подпространстве  $X_{i_1 \dots i_k}$  координаты  $(x_{i_1}^l, \dots, x_{i_k}^l)$ , а ПОО  $p$  (тоже любой из той же совокупности) - координаты  $(x_{i_1}^p, \dots, x_{i_k}^p)$ . Тогда  $r_{lp} = 1$ , если число дуг  $(x_{i_1}^l, x_{i_1}^p), \dots, (x_{i_k}^l, x_{i_k}^p)$  соответственно в графах  $G_{i_1}, \dots, G_{i_k}$  больше или равно величине заданного порога  $q$  ( $1 \leq q \leq k$ ). В противном случае  $r_{lp} = 0$ .

Таким образом, если  $r_{lp} = 1$ , то ПОО  $l$  в большей степени относится к классу  $A$ , чем ПОО  $p$ . Построенная матрица предпочтений  $R$  имеет произвольный вид и используется для упорядочения ПОО обучающей выборки, дополненной добавленным  $p$ -м ПОО, взятым из области  $\Delta$ . Далее для любого элемента  $i$  из подмножества  $H \subseteq W$  ( $|W|=n+1$ ) определяется "вес":

$$\pi^+(i, H) = \sum_{j \in W/H} r_{ij} - \sum_{j \in H} r_{ji}, \quad (4)$$

где  $W$  определяет обучающую выборку, дополненную ПОО, который имеет координаты из  $\Delta$ , а  $H$ -некоторое подмножество из  $W$ . При этом первая сумма описывает риски пожаров ПОО  $i$  другим ПОО  $j$ , не входящим в  $H$ , а вторая сумма описывает риски пожаров ПОО  $j$ , входящих в  $H$ , ПОО  $i$ . Первым в этом упорядочении помещается такой объект  $i_B$ , для которого выполняется условие:

$$\pi^+(i_B, W) = \max_{i \in W} \pi^+(i, W) \quad (5)$$

В результате получаем на  $X_{i_1 \dots i_k}$  частное решающее правило. По этому правилу любой ПОО  $e$ , спроектированный на  $X_{i_1 \dots i_k}$ : если попадает в расширенный класс  $A$ , то относится к  $A$ ; если попадает в расширенный класс  $\bar{A}$ , то относится к  $\bar{A}$ , а во всех остальных случаях даётся отказ от распознавания по этому решающему правилу,

Пусть  $Z = \{Z_1, \dots, Z_k\}$  — множество построенных частных решающих правил. Составим таблицу, строки которой - ПОО обучающей выборки, а столбцы — элементы множества  $Z$ . На пересечении строки и столбца стоит "1", если соответствующий ПОО правильно относится к своему классу соотвествующим частным решающим правилом. С помощью построенной таб-

лицы каждый объект "у" обучающей выборки выделяет на множестве Z подмножество Z(y), на котором он правильно распознается.

Тогда искомое решающее правило имеет вид:  $\max(a, \bar{a}, 0) = a \Rightarrow e \in A; \max(a, \bar{a}, 0) - \bar{a} \Rightarrow e \in \bar{A}; \max(a, \bar{a}, 0) = 0 \Rightarrow \text{"отказ"},$   
где  $a = \sum_{y \in A} |Z_{l=1}(y)|, \bar{a} = \sum_{y \in \bar{A}} |Z_{l=0}(y)|, 0 = \sum_{y \in A \cup \bar{A}} |Z_{l=0}(y)|.$

Рассмотренная модель позволяет, используя обучающую выборку при проведении распознавания тестируемого ПОО не только отнести его к конкретному классу угроз по шкале пожарных рисков, но и расширив данную шкалу проводить более адекватную оценку угроз при возникновении ЧС, когда необходимо выделить ресурсы ПСР, позволяющие минимизировать последствия пожаров.

В третьем параграфе рассматривается механизм прогнозирования состояний ПОО, который на основе метода имитационного моделирования позволяет планировать предупредительные меры к ПОО, имеющими высокорисковые значения по пожарной опасности.

Прогнозирование состояний ПОО сопряжено с множество трудностей, среди которых можно выделить следующие: отсутствие статистических наблюдений для вновь открываемых ПОО, значительное число факторов, определяющих значение искомой случайной величины во времени, неопределенность в законах распределения случайной величины в обслуживающих приборах накопителях. Проведем проверку справедливости предположений о законе распределения исследуемой случайной величины (состояние ПОО). В ходе имитационного эксперимента получим выборку n значений случайной величины x. (объем выборки (n) должен достаточно высок). Тогда, выдвинем гипотезу  $H_0$  в том, что случайная величина x распределена по некоторому определенному закону с плотностью распределения  $p(x)$ , (нормально или равномерно, или как угодно - непрерывно или дискретно, но закон распределения известен). Для проверки гипотезы используем случайную величину  $\chi^2$ , закон распределения которой известен. Гипотеза  $H_0$ : распределение **равномерно** в интервале (0,1), т.е. весь диапазон изменения x - от 0 до 1. Разбив этот диапазон на интервалы, (в среднем на каждый около 10 элементов выборки) и, соответственно, чтобы теоретическая вероятность попадания в каждый интервал не была мала  $n=100$ , число интервалов L = 10. Сформируем таблицу, введя туда предсказанные вероятности  $p_i$  попадания в i-й интервал и - реальное число элементов выборки  $m_i$ , попавших в этот интервал.

После проведения n=100 независимых испытаний, вероятность события: от 0.1 до 0.2  $p_i = 0.1$ . Число  $m_i$  попаданий в этот интервал - случайная величина, распределенная по закону Бернулли. При большом n величина  $\eta = \frac{m - np}{\sqrt{npq}} \sim N(0,1)$ . Число степеней свободы для критерия на 1 меньше, чем число интервалов ( $v = L-1$ ), т. к. на величины  $\eta_i$  в данном случае наложена одна связь:  $\sum m_i = n$ . Вычислив  $\chi^2 = \sum_{i=1}^L \eta_i^2 = 8$ , найдем критическую область Q

(односторонняя). Это означает справедливость наших предположений о значениях  $p_i$ , т. е. гипотеза  $H_0$  подтверждается.

При проверке предположения о нормальном законе распределения считаем, что параметры этого закона  $Mx$  и  $Dx$  (математическое ожидание и дисперсия) предполагаются известными, т. е.  $H_0: x \sim N(Mx, Dx)$ , в этом случае удобно введем новую случайную величину:

$$z = \frac{x - Mx}{\sqrt{Dx}} \sim N(0,1) \quad (6)$$

Пересчитаем все величины выборки  $x$  в  $z$  по формуле (6), либо пересчитать концы интервалов:

$$x_i = z_i \sqrt{Dx} + Mx \quad (7)$$

и найти, сколько реально значений  $x$  попадает в данный интервал.

Дальнейшие действия аналогичны описанным в примере с равномерным распределением. Критерий  $\chi^2$  имеет  $L-1$  степеней свободы, где  $L$  – число интервалов. Таким образом, необходимо определить наиболее адекватный для данной модели закон распределения случайной величины не эмпирическим путем, а расчетным.

Повысив достоверность модели ПОО синтезированной в среде GPSS World, получаем наиболее достоверную статистику для факторного эксперимента, причем поверхность отклика при многофакторном анализе будет иметь вид, представленный на рис. 2.

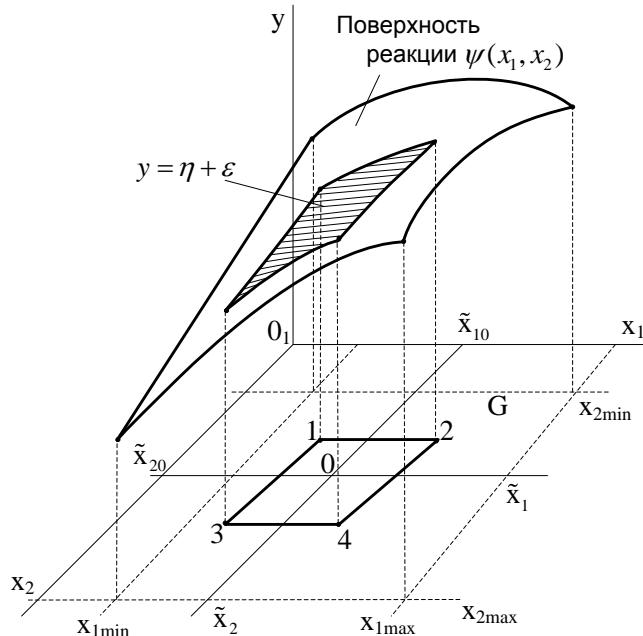


Рисунок 2 – Геометрическое толкование поверхности отклика при многофакторном эксперименте

Далее решаем уравнения регрессии на основе метода наименьших квадратов. Система нормальных уравнений в общем случае имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_0N + a_1\sum x_1 + a_2\sum x_2 + \dots + a_k\sum x_n = \sum y \\ a_0x_1 + a_1\sum x_1^2 + a_2\sum x_1x_2 + \dots + a_n\sum x_1x_n = \sum yx \\ \dots \\ a_0\sum x_n + a_1\sum x_1x_n + a_2\sum x_2x_n + \dots + a_n\sum x_n^2 = \sum yx_n \end{array} \right. \quad (8)$$

Теснота связи оценивается с помощью коэффициента множественной корреляции, который определяется по аналогичному индексу корреляции

$$R_{yxj} = \sqrt{1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}}$$

где  $\hat{y}$  — теоретические значения результативного показателя, определяемые по уравнению регрессии;  $\bar{y}$  — средняя арифметическая результативного показателя.

Чем меньше значение результативного показателя отклоняется от линии множественной регрессии, тем большей величины коэффициент корреляции, имеющий значения по абсолютной величине в интервале:  $0 \leq |R| \leq 1$ .

Тогда уравнение множественной регрессии в нормированном масштабе в общем виде можно записать как:

$$y = \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n \quad (9)$$

Параметры  $\beta_j (j=1, n)$  определяются с помощью корреляционных коэффициентов корреляции. Коэффициенты регрессии  $\beta_j (j=1, n)$  показывают весомость, степень влияния каждого фактора, то есть отношение  $\beta_i/\beta_j$  показывает во сколько раз влияние фактора  $i$  больше влияния фактора  $j$ .

Представленный механизм прогнозирования состояний ПОО позволяет существенно повысить достоверность результатов и, следовательно, составить своевременный план ПСР на упреждение нежелательных ситуаций.

В четвертом параграфе рассматривается механизм анализа состояния ПОО обеспечивающий адекватную реакцию ПСР на увеличение риска от запланированных показателей за счет использования аппарата искусственного интеллекта.

Основной задачей персонала ПСР является процедура распознавания состояния ПОО и определение причины такого состояния. Для этого воспользуемся аппаратом искусственного интеллекта и синтезируем экспертную систему на основе продукционной модели знаний. В этом случае для логической модели представления знаний дедуктивный вывод нового положения предполагает получение доказательства выводимости этого положения из группы посылок. Задача доказательства выводимости некоторого выражения из списка формул  $D_1, D_2, \dots, D_n$  т. е. задача

$$D_1, D_2, \dots, D_n \vdash Q, \quad (10)$$

может быть сведена к доказательству общезначимости выражения

$$D_1 \& D_2 \& \dots \& D_n \rightarrow Q \quad (11)$$

или противоречивости выражения

$$(D_1 \& D_2 \& \dots \& D_n) \& \neg Q \quad (12)$$

Любое замкнутое выражение, в котором отсутствуют свободные индивидуальные переменные (все переменные связаны кванторами всеобщности или существования) вида

$$\exists x_1 \dots \exists x_k F(x_1, \dots, x_k) \quad (13)$$

где  $\exists x_i x_i = \forall x_i$  или  $\exists x_i$  может рассматриваться как эквивалентное высказывание, область возможных значений  $\{t, f\}$  которого конечна и определена, что позволяет общезначимость любого соотношения, состоящего из независимых эквивалентных высказываний вида (13), доказывать путем интерпретации на соответствующей таблице истинности, аналогично подходам, развитым в исчислении высказываний. С учетом соотношения:

$$\models A(x) \sim \forall x A(x)$$

от задачи доказательства общезначимости (11) можно попытаться перейти путем связывания всех свободных индивидуальных переменных к решению эквивалентной задачи (задач), допускающей применение конечных алгоритмов интерпретации.

Доказательство выводимости заключения  $Q$  из группы посылок  $\{D_i\}$ .

1. Формируется соотношение для необходимых условий выводимости.
2. Проверяется выполнение необходимых условий и в случае отрицательного результата делается вывод об отсутствии строгого логического следования заключения  $Q$  из группы посылок  $\{D_i\}$ .

3. В случае выполнения необходимых условий выводимости формируется соотношение для достаточных условий выводимости.

4. Проверяется выполнение достаточных условий и в случае положительного результата делается вывод о существовании строгого логического следования заключения  $Q$  из группы посылок  $\{D_i\}$ .

5. В случае невыполнения достаточных условий проводится дополнительный ограниченный анализ исходного выражения (2) с учетом информации о частных условиях невыполнения ДУ, что может позволить сделать вывод о существовании логического следования даже при невыполнении ДУ.

Рассмотрим алгоритм формирования выражения для НУ выводимости соотношения (10).

**Шаг 1.** Выражение (11) преобразуется в префиксную нормальную форму (ПНФ):  $\exists x_k \dots \exists x_n \hat{O}(x_1, \dots, x_k, \dots, x_n)$ . При этом вынесению могут не подвергаться кванторы, продвинутые непосредственно к предикатам.

**Шаг 2.** Формула  $\Phi(x_1, \dots, x_n)$  ПНФ преобразуется в конъюнктивную нормальную форму (КНФ):  $\Phi(x_1, \dots, x_n) = D_1 \& \dots \& D_m$ , где  $D_i = F_1^i \vee \dots \vee F_l^i$ ;  $F_j^i$  — атомы или кванторные выражения вида:  $\exists x_1 \dots \exists x_t F_j^i(x_1, \dots, x_t)$ ;  $\exists x_i$  — есть  $\forall x_i$ ; либо  $\exists x_i$ .

**Шаг 3.** Кванторы всеобщности выносятся вперед по отношению к кванторам существования

$$\forall x_k \dots \forall x_m \exists x_{m+1} \dots \exists x_n \hat{O}(x_1, \dots, x_k, \dots, x_n),$$

**Шаг 4.** В первом дизъюнкте КНФ каждый атом связывается кванторами существования по переменным  $x_{m+1}, \dots, x_n$ . Оставшиеся свободные переменные первого атома рассматриваемого дизъюнкта связываются кванторами всеобщности, а переменные остальных атомов связываются кванторами существования.

**Шаг 5.** Все оставшиеся дизъюнкты КНФ преобразуются аналогичным образом.

В результате реализации приведенного алгоритма получим выражение, описывающее искомые необходимые условия выводимости:

$$(\forall x_1 \dots \forall x_m \exists x_{m+1} \dots \exists x_n F_1^1 \vee \exists x_1 \dots \exists x_m \exists x_{m+1} \dots \exists x_n F_2^1 \vee \dots \vee \exists x_1 \dots \exists x_m \exists x_{m+1} \dots \exists x_n F_{m_1}^1) \& \dots \\ \dots \& (\forall x_1 \dots \forall x_m \exists x_{m+1} \dots \exists x_n F_1^m \vee \exists x_1 \dots \exists x_m \exists x_{m+1} \dots \exists x_n F_2^m \vee \dots \vee \exists x_1 \dots \exists x_m \exists x_{m+1} \dots \exists x_n F_{m_l}^m). \quad (14)$$

Рассмотренный механизм позволяет проводить оперативный анализ возникающих ситуаций на ПОО и обеспечивает ПСР достоверной информацией для принятия необходимого в сложившихся условиях решения, а представленный алгоритм формирования выражения для НУ выводимости позволяет существенно улучшить работу экспертной системы, основанной на производационной модели знаний и избежать ряда недостатков, присущих ей.

В пятом параграфе рассмотрены модель и алгоритм функционирования системы управления рисками на ПОО позволяющие добиться уменьшения вероятности возникновения пожаров при одновременном снижении затрат ПСР на предупреждение и устранение последних.

Задача оптимального управления для ПСР формулируется на основе критерия пессимизма-оптимизма Гурвица:

$$X = \max_i \left\{ \chi \min_i a_{ij} + (1 - \chi) \max_i a_{ij} \right\}. \quad (15)$$

Выбор данного критерия обусловлен тем, что в зависимости от класса опасности предприятия коэффициент  $\chi$  выбирается в диапазоне от 0 до 1 и устанавливается на квартал ПСР, т.е. при  $\chi=1$  получается максиминный критерий Вальда (для предприятий имеющих высокий риск пожара), а при  $\chi=0$  – получается критерий минимаксного риска Сэвиджа (для предприятий имеющих минимальный риск возникновения пожаров).

Далее выполняем следующий алгоритм:

**Шаг 1** - строим платежную матрицу для каждого ПОО в строках которой устанавливаются стратегии ПСР –  $A_i$ , (выигрышами будем считать затраты ПСР по выделяемым ресурсам на предупреждение пожаров или минимизацию последствий от них –  $a_{ij}$ , в столбцах откладываем значения состояний ПОО применительно к вероятности их возникновения –  $S_j$ ;

*Утверждение 1.* Поскольку вероятности состояний ПОО определены ранее в модели прогнозирования, то можно обойтись чистыми стратегиями не применяя смешанных.

**Доказательство.** Если в нашем случае применять смешанную стратегию:  $S_A = (p_1, p_2, \dots, p_m)$ , т.е. стратегию  $A_1$  с вероятностью  $p_1$  и т.д., то средний выигрыш, осредненный по условиям и по стратегиям будет:

$$\bar{a} = p_1 \bar{a}_1 + \dots + p_m \bar{a}_m.$$

Что соответствует среднему выигрышам, соответствующих стратегиям. А так как любое среднее не может превосходить максимальной из осредняемых величин, то применение смешанной стратегии с любыми вероятностями не может быть выгодно для ПСР, чем чистая стратегия.

**Шаг 2-** записываем в трех последних столбцах платежной матрицы пессимистическую оценку выигрыша  $a_i$ , оптимистическую  $w_i$  и их средневзвешенное  $\bar{N}_i$  по формуле (15);

**Шаг 3-** находим максимальное значение  $\bar{N}_i$  и определяем ресурсы, требуемые ПСР для минимизации рисков;

**Шаг 4-** затем строим матрицу рисков для чего в каждом столбце платежной матрицы определяем наибольшее значение  $\max a_{ij} = \beta_j$ . Риском ПСР будем считать разность между ресурсами применяемыми им в разных стратегиях, при условии известного значения состояния ПОО. Далее каждый элемент платежной матрицы вычитаем из  $\beta_j$ . В результате получим матрицу рисков;

**Шаг 5-** затем вычисляем среднее взвешенное значение максимумов столбцов по формуле:

$$\sum_{j=1}^n P_j \beta_j = C,$$

где  $P_j$  - вероятности возникновения состояний ПОО, рассчитанные ранее.

Находим средний риск для ПСР при выборе стратегии ресурсного обеспечения ПОО с целью предупреждения пожаров и минимизации их последствий;

**Шаг 6-** нетрудно убедиться, что величина среднего риска обращается в минимум тогда, когда средний выигрыш для ПСР – в максимум (что соответствует минимуму затрачиваемых ресурсов);

**Шаг 7-** определяем для каждой строки платежной матрицы наименьший выигрыш и записываем в виде дополнительного столбца справа ( $a_i$ ), а затем находим из данного столбца максимальное значение  $a_i$  и соответствующую ей оптимальную стратегию ПСР;

**Шаг 8-** сравнивая полученные значения стратегий ПСР и соответствующее им ресурсное обеспечение выбираем ту стратегию, которой соответствует значение коэффициента  $\bar{N}_i$ .

Полученная модель позволяет выбирать для каждого ПОО тот набор ресурсов, который соответствует уровню его риска, что приведет к существенному снижению затрат ПСР на обеспечение своей деятельности.

**В третьей главе** рассмотрены экспериментальные исследования предложенной структуры системы управления рисками на потенциально опасных предприятиях со стороны противопожарной службы региона, проанализированы результаты и получен оптимальный вариант.

В первом параграфе рассмотрены требования к СУРПОО которая предназначена для обеспечения снижения рисков возникновения пожаров, а также минимизации ресурсов ПСР при их ликвидации. В основе управления риском лежит принцип оптимизации соотношений выгоды и ущерба. Стrатегическая цель управления риском - стремление к повышению уровня благосостояния общества (максимизация материальных и духовных благ) при обязательном условии: никакая практическая деятельность, направленная на реализацию цели, не может быть оправдана, если выгода от нее для общества в целом не превышает вызываемого ею ущерба (оправданность практической деятельности). Цикл управления риском как итерационный процесс основан на возможности осуществления эффективного уменьшения цены экологического риска с учетом стоимости мероприятий по снижению риска. При этом выбор тех или иных мероприятий, обеспечивающих снижение цены риска соответствует подходу, называемому в международной практике ALARA (as low as reasonably applicable). Это подход к управлению риском, который подразумевает его максимально возможное снижение, достигаемое за счет реально имеющихся (ограниченных) ресурсов. Особенность подхода заключается в преимущественной ориентации не на жесткие нормативы, а на такие решения, которые разумны с экономической точки зрения, что и позволяют реализовать разработанные модели и механизмы. Основные фазы деятельности разработанной системы состоят в следующем: становление уровней приемлемого риска, исходя из экономических и социальных факторов; мониторинг окружающей среды, анализ риска для жизнедеятельности населения и прогнозирования пожаров; принятие решений о целесообразности проведения превентивных мероприятий защиты; рациональное распределение средств на превентивные меры по снижению риска и меры по уменьшению последствий пожаров; проведение аварийно-спасательных и восстановительных работ при пожарах. Представлен вариант определения эталонных вариантов бизнес - деятельности ПОО и ПСР в целях развертывания элементов предложенных моделей и механизмов на базе программной оболочки BP-Win 4.1.

Во втором параграфе обосновываются методические положения по внедрению обязательных и добровольных механизмов страхования ответственности ПОО для улучшения работы экспертного механизма классификации ПОО, доказано, что даже отсутствие статистики за предыдущие годы не является препятствием для его использования. Далее рассматриваются технические средства, которые могут быть использованы для практической реализации разработанных в диссертации моделей и механизмов. Предложен программный комплекс расчета кратчайшего маршрута на основе алгоритма Дейкстры для модели взаимодействия ПОО и ПСР.

В четвертом параграфе дается оценка эффективности разработанным моделям и механизмам, которые обеспечивает снижение ресурсов применяемых ПСР для ликвидации пожаров на 14 %. Общее снижение рисков возникновения пожаров на ПОО снизилось по сравнению с существующими моделями управления на 21%.

В заключении приводятся основные теоретические и практические результаты и выводы диссертационной работы. Приложение содержит материалы о внедрении результатов диссертации.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ РАБОТЫ**

В ходе выполнения диссертационного исследования получены следующие основные результаты:

- проанализированы существующие системы управления рисками на потенциально опасных объектах для противопожарной службы региона;
- синтезирована модель взаимодействия ПОО и ПСР позволяющая определять риски возникновения пожара в любой момент времени с целью за счет применения аппарата марковских цепей и алгоритма нахождения кратчайшего маршрута Дейкстры;
- получена модель классификации ПОО позволяющая на основе методов численной таксономии определять их потенциальный техногенный и экологический ущерб;
- разработан механизм прогнозирования состояний ПОО, который на основе метода имитационного моделирования позволяет планировать предупредительные меры к ПОО, имеющими высокорисковые значения по пожарной опасности;
- сформирован механизм анализа состояния ПОО обеспечивающий адекватную реакцию ПСР на увеличение риска от запланированных показателей за счет использования аппарата искусственного интеллекта.
- разработана модель и алгоритм функционирования системы управления рисками ПОО со стороны ПСР, позволяющие уменьшить выделяемые для предупреждения и ликвидации пожаров ресурсы за счет использования игровых методов обоснования решений.
- проведены экспериментальные исследования предложенной структуры СУРПОО, проанализированы результаты и получен оптимальный вариант.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

### **Статьи, опубликованные в изданиях, определенных ВАК РФ:**

1. Каратаева Т.В. Модель разработки стратегии оптимизации финансовых показателей предприятия /Бурков В.Н., Каратаева Т.В., Пожидаева Т.В./ // ВЕСТНИК ВГТУ Том 3, № 7, 2007 – С. 107-113.
2. Каратаева Т.В. Выбор целей развития организационной системы в области качества / Белоусов В.Е., Каратева Т.В. // ВЕСТНИК ВГТУ Том 3, № 7, 2007 – С. 127-130.
3. Каратаева Т.В. Построение системы менеджмента качества производства с использованием метода имитационного моделирования /Канищев А.Н., Каратаева Т.В. //ВЕСТНИК ВГТУ, Том 4 №1 2008 – С. 18-21.
4. Каратаева Т.В. Модель управления информационными потоками в системах организационного управления /Белоусов В.Е., Каратаева Т.В. //ВЕСТНИК ВГТУ, Том 4 №2 2008 – С. 24-28.

5. Каратаева Т.В. Алгоритм анализа состояний сложных организационных систем на основе производственной модели знаний /Белоусов В.Е., Каратаева Т.В., Урманов И.А. //ВЕСТНИК ВГТУ, Том 4 № 6, 2008 – С. 18-22.

6. Каратаева Т.В. Алгоритм обеспечения качества функционирования многоуровневой системы / Арутюнян Э.А., Белоусов В.Е., Коротаева Т.В// ИЗВЕСТИЯ Тульского гос. университета, Выпуск 13, 2009 – С. 8-16.

**Статьи, материалы конференций:**

7. Каратаева Т.В. Расчет стоимости текущего ремонта по однородным группам показателям / Амплеев А.С., Каратаева Т.В.//Системы управления эволюцией организаций. ПЯТАЯ международная конференция 10-16 сентября 2007г. г. Салоу, Испания, Воронеж, 2007 – С. 97-104.