

На правах рукописи

**Малышев Андрей Сергеевич**

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ  
ИНФОРМАЦИИ ПРИ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка  
информации

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2010

Работа выполнена в Открытом акционерном обществе «Головной центр сервисного обслуживания и ремонта Концерн ПВО «Алмаз-Антей» «Гранит» (ОАО «ГЦСО ПВО «Гранит»).

Научный руководитель: доктор технических наук  
Страхов Алексей Федорович

Официальные оппоненты: доктор технических наук  
Воронин Евгений Алексеевич

кандидат технических наук  
Степанов Александр Викторович

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук  
Институт системного анализа  
РАН (ИСА РАН)

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 г. в \_\_\_\_ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д002.017.03 при Учреждении Российской академии наук Вычислительный Центр им. А.А. Дородницына РАН по адресу: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 40 в конференц-зале.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к. ф.-м. н.



Мухин А.В.

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы исследований.** В оборонной и гражданской промышленности, а также в городской инфраструктуре имеются объекты, на которых могут возникать нештатные ситуации, приводящие к значительному экономическому и иному ущербу. Причинами нештатных ситуаций может быть конечная надежность объектов, отсутствие эффективного контроля за их текущим состоянием, внутренние и внешние деструктивные воздействия, включая человеческий фактор (неквалифицированная эксплуатация, небрежность, преднамеренные действия террористического и иного характера). Как правило (особенно – при множестве объектов, представляющих потенциальную опасность) возникновение нештатных ситуаций (НшС) с отягчающими последствиями трудно прогнозируемо. Потенциальный ущерб от возникающих чрезвычайных происшествий (ЧП) на указанных объектах промышленности условно может быть разделен на две части: первичный ущерб при возникновении ЧП (взрыв, пожар, обрушение сооружений, гибель людей и т.п.) и вторичный ущерб, обусловленный развитием ЧП до момента локализации очага ЧП и ликвидации последствий. Размер первичного ущерба от возникновения ЧП вследствие развития НшС на объектах промышленности, как правило, неуправляемый и зависит от вида ЧП. Размер вторичного ущерба зависит от времени принятия решений по локализации ЧП, от состава и эффективности ресурсов (сил и средств), привлекаемых для локализации ЧП и ликвидации последствий ЧП на подконтрольных объектах промышленности.

На практике задача по локализации НшС и минимизации ущерба от ЧП на множестве подконтрольных объектов промышленности решается при недостаточном ресурсе времени на полноценный анализ всех факторов текущей НшС (зачастую, имеющих сложную структуру взаимосвязи), без возможности привлечения необходимого числа экспертов, а также в условиях неполноты, противоречивости и неопределенности информации о подконтрольных объектах. То есть сложность выработки эффективного решения обусловлена необходимостью учета и обработки большого объема данных. В таких условиях полноценный анализ ситуации и выработка наилучшего решения невозможны, что в свою очередь приводит к существенному увеличению вторичного ущерба от ЧП.

Все это обуславливает необходимость использования специализированного инструментария, который в общем случае обеспечивал бы сбор и анализ априорной информации по НшС, доступ к дополнительным данным и информационным ресурсам, а также на основе имеющейся информации вырабатывал бы варианты управленческих решений с учетом тех или иных критериев. Таким образом, возникает необходимость использования автоматизированных систем, направленных на поддержку принятия решений в области управления силами и средствами по реакциям на ЧП и НшС.

Вопросам применения автоматизированных систем поддержки принятия решений по управлению в различных областях посвящены труды Д.А. Поспелова, А.Г. Мамиконова, В.В. Кульбы, А.Н. Катулева, Н.А. Северцева, В.М. Глушкова, И.Ю. Юсупова, Б.Г. Ильясова, Л.В. Щавелева, Д.Л. Андрианова, Ю.Ф. Тельнова, В.А. Каштанова, Р. Бергмана, М. Рихтера, П. Кина, С. Мортонна, Е. Кодда, А. Винстона и др.

Однако в известных к настоящему времени работах в недостаточной степени рассмотрены вопросы, связанные с особенностями принятия решений по локализации ЧП и ликвидации их последствий в условиях множества управляемых объектов и априорной неопределенности вида НшС и последствий возникающих ЧП.

В связи с этим диссертационная работа, посвященная обеспечению информационной поддержки принятия решений оперативных служб по локализации возникающих НшС и минимизации ущерба от ЧП, является **актуальной**.

**Объектом исследований** является конечное множество подконтрольных объектов, находящихся в территориальной зоне ответственности потенциальной автоматизированной системы организационного управления специального назначения (АСОУ СН) и являющихся потенциальными причинами возникновения НшС.

**Предметом исследований** являются аналитические методы и подходы, модели и алгоритмы обработки исходной информации о НшС и ЧП, предназначенные для поддержки принятия решений по локализации ЧП и минимизации потенциального ущерба от последствий ЧП в условиях априорной неопределенности вида НшС и жестких ограничений на время принятия управленческих решений.

**Цель исследований** состоит в повышении эффективности системы организационного управления специального назначения по локализации возможных ЧП и минимизации возможного ущерба в условиях априорной неопределенности характеристик НшС и жестких ограничений на время принятия решений.

**Задачи исследований** определяются поставленной целью и включают:

1. Анализ известных методов и подходов к обеспечению информационной поддержки принятия решений и оценки их применимости в условиях множества подконтрольных объектов, априорной неопределенности состояния объектов в территориальных зонах ответственности и жестких ограничений по времени;

2. Системный анализ особенностей множества потенциальных подконтрольных объектов, их подмножеств и подмножеств вероятных НшС с целью уменьшения степени неопределенности первичной исходной информации о НшС, поступающей на вход потенциальной АСОУ СН;

3. Разработку алгоритмов обработки первичной исходной информации о НшС и решающих правил выработки неотложных действий сотрудников низовых звеньев управления локализацией ЧП и минимизацией ущерба от их последствий;

4. Разработку алгоритмов оперативного поиска и обработки дополнительной информации, необходимой для разрешения остаточной неопределенности оценки НшС и ее последствий, и решающих правил по интеграции информационной поддержки принятия решений с применением информационных возможностей потенциальной АСОУ СН и взаимодействующих с ней специализированных распределенных АИС.

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач исследований использовались теория принятия решений, методы системного анализа, теория управления, теория экспертных систем, теория множеств, теория графов, методы имитационного моделирования.

**Научная задача,** решаемая в диссертационной работе, состоит в разработке моделей и алгоритмов информационной поддержки принятия решений по локализации НшС и минимизации возможного ущерба от ЧП в условиях априорной неопределенности характеристик НшС при множестве подконтрольных объектов за ограниченное время, включая системный анализ подконтрольных объектов и разработку алгоритмов обработки информации.

**Научная новизна работы.**

1. Обоснована и разработана модель обработки исходной информации о текущем состоянии подконтрольных объектов при нештатной ситуации;

2. Обоснован и разработан эвристический подход к снижению влияния априорной неопределенности состояния ПКО и НшС на эффективность принятия управленческих решений;

3. Обоснована и разработана методика оперативного получения и обработки дополнительных информационных ресурсов из взаимодействующих внешних АИС и БД;

4. Разработан комплекс алгоритмов обработки информации для обеспечения информационной поддержки принятия решений в потенциальной АСОУ СН.

**На защиту выносятся:**

1. Модель обработки исходной информации о текущем состоянии подконтрольных объектов при нештатной ситуации;

2. Методика обеспечения информационной поддержки принятия решений, направленных на минимизацию ущерба от нештатных ситуаций;

3. Комплекс алгоритмов автоматизации информационной поддержки принятия решений;

4. Результаты внедрения и экспериментальных исследований эффективности применения разработанных положений.

**Достоверность и обоснованность результатов,** полученных в диссертации, основывается на применении методов системного анализа, положений теории принятия решений и теории управления, положений теории экспертных систем, имитационного моделирования. Достоверность положений и выводов диссертационной работы подтверждается результатами экспериментальных исследований, проведенных на примерах двух предметных областей функционирования вариантов АСОУ СН – АИС ПДУУ г. Москвы и КУСВР ВВТ ПВО.

**Апробация работы.** Научные положения и результаты диссертационной работы прошли апробацию на научных конференциях Московского военного института радиоэлектроники космических войск, на научно-практических семинарах МАРТИТ (в период обучения в аспирантуре МАРТИТ), на технических совещаниях ГУВД г. Москвы по вопросам создания АИС ПДУУ.

**Публикации.** По теме диссертационной работы имеется 6 публикаций объемом 1,3 п.л., в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК России объемом 0,9 п.л., 1 патент, 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. В работах, опубликованных с соавторами, соискателю принадлежит не менее 50 % материала.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Общий объем диссертационной работы составляет 122 страницы, в том числе 12 рисунков, 5 таблиц и список использованных источников, включающий 86 наименований.

### Содержание диссертационной работы

Во **введении** приведена общая характеристика работы, где содержатся обоснование актуальности темы, формулировка цели, предмета, объекта, задач и методов исследований по теме диссертации, характеристика новизны работы и положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** посвящена общей характеристике предметной области исследований, анализу существующих подходов по обеспечению информационной поддержки принятия решений, а также уточнению постановки задачи диссертационного исследования.

Основной сложностью для эффективной выработки решений по локализации возможных нештатных ситуаций и уменьшению их последствий является многообразие ПКО в ТЗО, индивидуальность каждого объекта, а также априорная неопределенность характеристик и типа нештатной ситуации, места возникновения нештатной ситуации и, как следствие, неопределенность размера потенциального ущерба.

В соответствии с характеристикой предметной области исследований для обеспечения процесса принятия решений по реакции на НшС в ТЗО предполагается применение соответствующей АСОУ СН. Данная система предназначена для автоматизации информационной поддержки принятия решений оперативных служб специального назначения, деятельность которых направлена на реагирование на нештатные ситуации (МЧС, службы ЧС и ГО, службы сервисного обслуживания и войскового ремонта ВВТ, пожарная охрана, службы правопорядка и т.д.).

В территориальной зоне ответственности АСОУ СН находится некоторое конечное множество ПКО:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, a_i = \{z_1, \dots, z_m\}, z_i \in Z; \quad (1)$$

где:  $a_i$  – подконтрольный объект (строение, коммуникация, образец ВВТ, транспортное средство, человек и т.п.);  $z_i$  – переменные состояния соответствующего ПКО;  $Z$  – множество возможных состояний ПКО.

Функционирование ПКО при возникновении НшС на каждом интервале времени  $(t_{i-1}, t_i)$  описывается операторной функцией:

$$z(t) = \varphi(z(t_{i-1}), u(\Delta t)), z(t_i) \in Z(t_i) \subseteq Z, u(\Delta t) \in U; \quad (2)$$

где:  $\Delta t = (t_i - t_{i-1})$  – интервал времени;  $z(t_i)$  и  $z(t_{i-1})$  – состояния ПКО в моменты времени  $(t_i$  и  $t_{i-1})$  соответственно;  $u(\Delta t)$  – дестабилизирующее воздействие на ПКО на интервале времени  $(t_{i-1}, t_i)$ ;  $Z_i$  – состояние ПКО в момент времени  $t_i$  (текущее состояние);  $Z$  – множество возможных состояний ПКО;  $U$  – множество возможных НшС, являющихся следствием дестабилизирующих воздействий  $u(\Delta t)$ .

Модель нештатной ситуации представлена в виде:

$$u_i = \{S, \gamma(z_i), R\}, u_i \in U; \quad (3)$$

где:  $S$  – тип нештатной ситуации;  $\gamma(z_i)$  – функция определения текущего состояния и параметров объекта;  $R = \sum_{i=0}^1 P(H_i)w_i = Q(\Delta t)w$  – показатель риска НшС (потенциальный ущерб), где:  $P(H_0) = Q(\Delta t)$ ,  $P(H_1) = 1 - Q(\Delta t)$ ,  $w_0 = w$ ,  $w_1 = 0$ ;  $w$  – размер ущерба;  $Q(\Delta t)$  – вероятность наступления этих событий за интервал времени  $\Delta t$ .

Размер ущерба  $w$  от НшС обусловлен спецификой ПКО и выражается в натуральном (число пострадавших, число погибших, размер зоны действия деструктивных воздействий) или стоимостном выражении. При этом размер ущерба зависит от большого числа факторов, имеющих как детерминированный, так и стохастический характер, и в целом является случайной величиной.

На рис. 1 изображен график зависимости размера ущерба  $w$  от времени реакции на возникшую НшС.

На интервале  $(t_a; t_i)$  рис. 1 производится выработка управленческих решений по подключению необходимых ресурсов (сил и средств) для локализации ЧС и минимизации ущерба.

Интервал времени  $(t_a; t_i)$  можно разделить на ряд частных интервалов:

$$(t_a; t_i) = \Delta t_{a_1} + \Delta t_{a_2} + \Delta t_{a_3} + \Delta t_{a_4} \quad (4)$$

где:  $\Delta t_{a_1}$  – время получения первичной информации с характеристикой текущей ситуации;  $\Delta t_{a_2}$  – время анализа и квалификации вида НшС;  $\Delta t_{a_3}$  – время определения состава и получения совокупности необходимых ресурсов для локализации ситуации;  $\Delta t_{a_4}$  – время выработки подсказки по дальнейшим действиям.

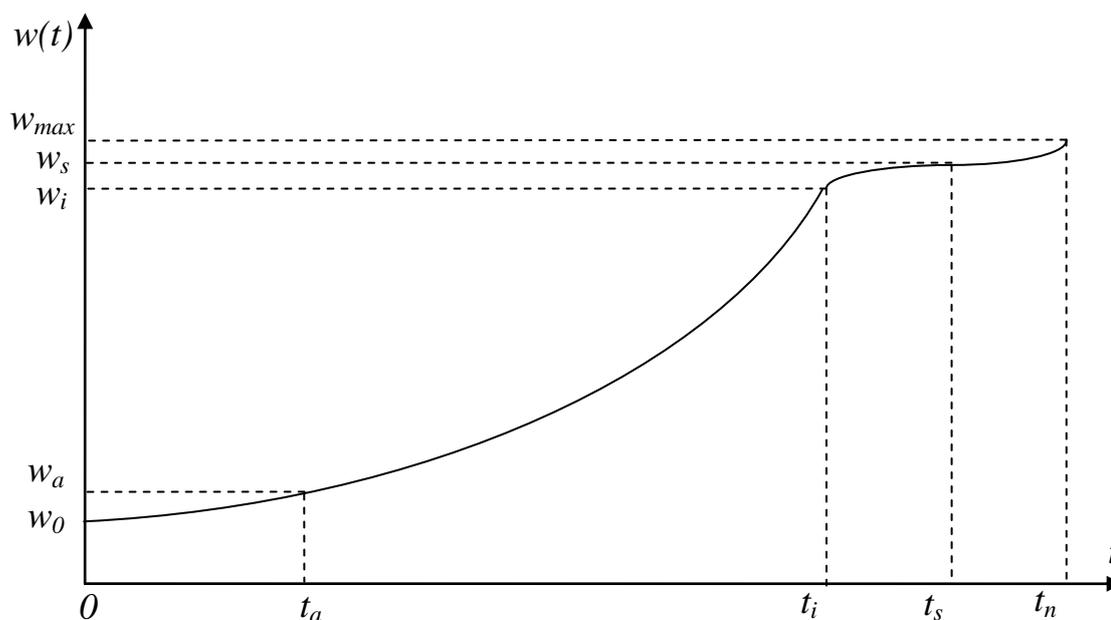


Рисунок 1 – Изменение размера ущерба от НшС во времени

Эффективность управления действиями по локализации ЧС и минимизации последующего ущерба непосредственно зависит от точности идентификации возникающих НшС и от времени определения состава ресурсов, необходимых для локализации ЧП и ликвидации последствий ЧС (т.е. при заданном интервале времени  $(t_a; t_i)$  необходимо обеспечить минимизацию значения вторичного ущерба).

Задачей диссертационного исследования является обоснование и разработка математико-алгоритмического обеспечения потенциальной АСОУ СН, которое бы позволило осуществлять эффективную автоматизацию идентификации НшС на подконтрольных объектах в ТЗО и последующую информационную поддержку принятия решений по локализации ЧС и минимизации последствий ЧС.

**Вторая глава** посвящена обоснованию и разработке общей модели информационной поддержки принятия решений по реакции на нештатные ситуации подконтрольных объектов управления.

Каждый ПКО в ТЗО находится в некотором текущем состоянии, которое характеризуется обобщенным показателем текущего состояния ПКО:

$$\Theta = f(z_i(t)), z_i \in Z; \quad (5)$$

где:  $f(z_i(t))$  – функция, описывающая текущее состояние ПКО;  $Z$  – множество возможных состояний ПКО;  $z_i$  – параметры состояния ПКО;  $t$  – текущее время.

Обобщенный показатель текущего состояния ПКО при штатном состоянии ПКО удовлетворяет соотношению:

$$\begin{cases} \Theta_{\min} < \Theta_i < \Theta_{\max}; \\ z_i \in Z_0. \end{cases} \quad (6)$$

При возникновении НшС показатель текущего состояния ПКО выходит за пределы, определенные ограничительным соотношением (6):

$$\begin{cases} \Theta_{\min} > \Theta_i; \\ \Theta_{\max} < \Theta_i; \\ z_i \in Z_{II} \Rightarrow z_i \in Z_I. \end{cases} \quad (7)$$

где:  $(z_i \in Z_{II} \Rightarrow z_i \in Z)$  означает, что в множество НшС  $Z_I$  входит подмножество  $Z_{II}$  НшС, сопровождающихся вторичным ущербом.

На рис. 2 представлен обобщенный алгоритм обработки исходной информации о нештатной ситуации, обеспечивающий минимизацию размера ущерба.

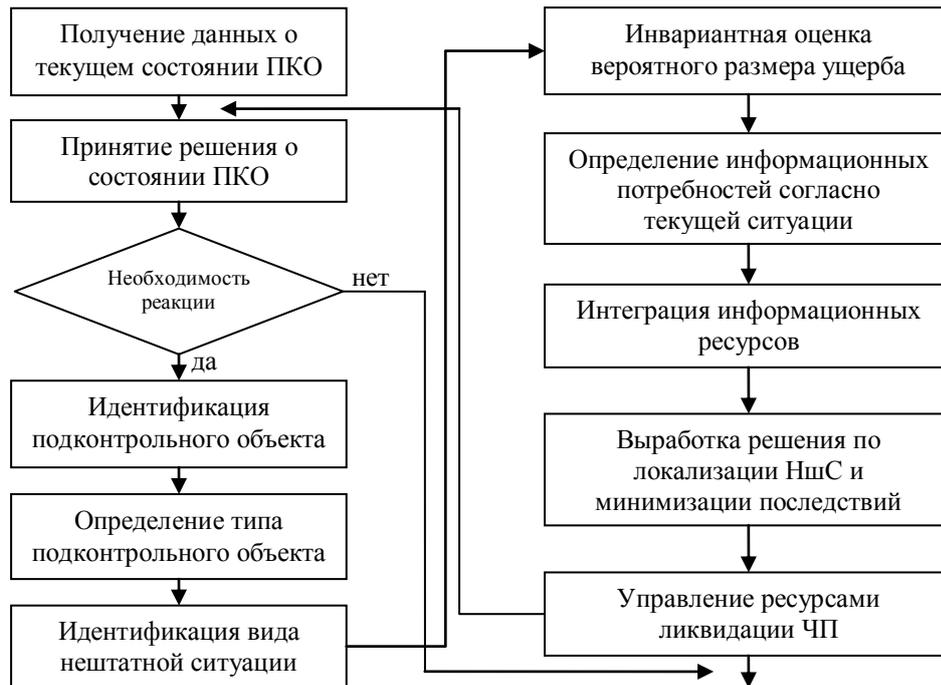


Рисунок 2 – Обобщенный алгоритм обработки исходной информации о текущем состоянии подконтрольных объектов при нештатной ситуации

В общем виде модель обработки исходной информации о текущем состоянии подконтрольных объектов при нештатной ситуации (рис. 2) может быть представлена выражением:

$$\begin{cases} \{a_i\} = \{a_i \in A \mid P(a_i)\}, P(a_i) = \xi_{a_i}(u_i^t); \\ \{u_i\} = \{u_i \in U \mid P(u_i)\}, P(u_i) = \xi_{u_i}(a_i, w_{a_i}^t); \\ w_{\max} = w_I + w_{II} + W; \\ R(z_i) = \bigcup_{k=1, n} \left( (M(I_k)) \times I_k(a_i(z_i^t); w_{\max}(u_i^t)) \right). \end{cases} \quad (8)$$

где:  $a_i$  – идентифицируемый подконтрольный объект в ТЗО;  $A$  – множество подконтрольных объектов в ТЗО;  $u_i$  – дестабилизирующее воздействие на ПКО;  $\xi_{a_i}$  – правило выделения ПКО из множества ПКО;  $\xi_{u_i}$  – правило выделения НшС из множества НшС;  $P(a_i)$  – идентификационный признак ПКО;  $P(u_i)$  – идентификационный признак типа НшС;  $w_I$  – первичный ущерб от НшС;  $w_{II}$  – вторичный ущерб последствий от НшС;  $W$  – затраты по

локализации НшС и ликвидации ее последствий;  $R(z_i)$  – решающие правила по реакции на НшС;  $z_i$  – параметры текущего состояния ПКО;  $M(I_k)$  – правила формализации соответствующего массива обрабатываемых дополнительных информационных ресурсов;  $I_k$  – массив информационных ресурсов.

Во втором разделе данной главы обоснован метод идентификации ПКО и НшС на основе применения классификатора с последующим присвоением каждому объекту классификации соответствующего классификационного кода. В результате проведенного анализа основных существующих систем классификации обосновано, что для классификации ПКО в ТЗО наиболее приемлемой является иерархическая система классификации, а для классификации НшС – фасетная система.

Формальная модель классификации ПКО представлена графом типа «дерево» с корнем  $v_0$  и множеством вершин:

$$IC = G(V = V_1 \cup \dots \cup V_n), V_i \cap V_j = \emptyset; \quad (9)$$

где: подмножество  $V_n$  – концы ребер, выходящих из вершин подмножества  $V_{n-1}$ ;  $i$  – уровень иерархии  $IC$ ;  $n$  – глубина классификации.

Фасетная формула  $FF(u_i)$  объекта (НшС)  $u_i$  представляет собой множество пар: {фасетный признак; значение фасета для объекта  $u_i$ } для тех фасетов, значения которых заданы для объекта  $u_i$ :

$$FF(u_i) = \left\{ \begin{array}{l} \langle \Phi_j, \phi_j(u_i) \rangle \mid \Phi_j \in \Phi(U), \\ \phi_j(u_i) \in \phi^{\Phi_j} \forall j \mid j \in \{1, \dots, l\}, \phi_j(u_i) \neq \varepsilon. \end{array} \right. \quad (10)$$

где:  $U = \{u_i \mid i = 1, \dots, k\}$  – множество классифицируемых НшС, где  $u_i$  представляет собой информационный объект классификации;  $\Phi(U) = \{\Phi_j(U) \mid j = 1, \dots, l\}$  – множество фасетов на  $U$ ;  $\phi^{\Phi_j} = \{\phi_{j1}, \dots, \phi_{jl}\}$  – множество допустимых значений фасета  $\Phi_j$ ;  $\phi_j(u_i)$  – значение фасета  $\Phi_j$  для объекта  $u_i$ :  $\phi_j(u_i) \in \{\phi^{\Phi_j}, \varepsilon\}$  ( $\phi_j(u_i) = \varepsilon$  если значение  $\phi_j(u_i)$  не задано).

Фасетная таблица НшС будет содержать фасетные формулы для всех объектов коллекции:

$$FT(U) = \{FF(u_i) \mid u_i \in U, i = 1, \dots, k\} = \left\{ \langle \Phi_j, \phi^{\Phi_j} \rangle \mid j = 1, \dots, l \right\}. \quad (11)$$

В третьем разделе обосновывается метод оперативного поиска дополнительных информационных ресурсов (ИР). В общем случае ИР, подлежащие дальнейшей обработке, являются потенциально связанными и представляют собой полный граф  $G_r = (V, R)$  с числом ребер, определяющимся соотношением:

$$r(r-1)/2; \quad (12)$$

где:  $V = \{\bigcup_{s_1}^1; \bigcup_{s_2}^2; \dots; \bigcup_{s_n}^k\}$ ,  $s_i \in S$  – множество значений ИР с учетом их принадлежности;  $S$  – множество источников данных;  $R$  – множество ребер графа, значения которых характеризуют маршрут доступа к соответствующим данным.

Вес ребер соответствующего графа описывается матрицей смежности, где на место отсутствующих ребер установлено специальное граничное

значение – 0. Для определения веса ребра графа вводится относительный коэффициент  $k$ , характеризующий время актуализации данных в источнике, вероятность наличия синтаксических ошибок и соответствие действительности:

$$k = \frac{k_t + k_v}{2}; \quad (13)$$

где:  $k_t$  – время получения ответа из соответствующего источника (внешней БД);  $k_v$  – достоверность полученной информации из соответствующего источника (внешней БД).

Задача поиска информационных ресурсов сводится к решению задачи нахождения кратчайших расстояний от одной из вершин графа до всех остальных. Поскольку рассматривается взвешенный орграф с ребрами, не имеющими отрицательных значений, то наиболее рациональным вариантом решения задачи является применение алгоритма Дейкстры.

В четвертом разделе рассматриваются вопросы обеспечения обработки имеющейся совокупности информации и выработки решения по текущей ситуации. Взаимосвязь между характеристиками подконтрольного объекта, исходной информацией о нештатной ситуации, произошедшей на данном ПКО, и решающим правилом, определяющим выработку варианта дальнейших действий по локализации ЧП и минимизации ущерба, может быть представлена следующим логическим выражением:

$$\text{ЕСЛИ } \langle \text{код ПКО} \rangle \text{ И } \langle \text{код НшС} \rangle \text{ ТО } \langle \text{правила реакции} \rangle \quad (14)$$

Решающие правила определяются на основе априорных знаний по предметной области и формализуются следующим образом:

$$R = \langle A, Z_i, O \rangle; \quad (15)$$

где:  $A$  – подконтрольный объект;  $Z$  – множество характеризующих параметров ПКО;  $O$  – множество действий, элементы которого могут быть как формализованы, так и представлены на естественном языке.

В условиях ограничения доступных ресурсов, необходимых для минимизации вторичного ущерба, в составе решающих правил может быть предусмотрено несколько вариантов стратегий, отличающихся составом используемых ресурсов, временем ликвидации последствий ЧП и размером вторичного ущерба от ЧП:

$$S = (X : A_i \times U_i \times T \rightarrow Y); \quad (16)$$

где:  $X$  – множество потенциальных правил конвертации (обобщения) ИР;  $A_i$  – идентифицированный ПКО;  $U_i$  – идентифицированная НшС;  $T$  – множество интервалов времени;  $Y$  – множество правил конвертации (обобщения) ИР.

**Третья глава** посвящена разработке комплекса алгоритмов, обеспечивающих автоматизацию информационной поддержки принятия решений по локализации ЧС и минимизации последствий ЧС

В первом разделе обоснован и разработан алгоритм идентификации ПКО и НшС. Общий алгоритм классификации и кодирования ПКО, находящихся в ТЗО потенциальной АСОУ СН, представлен совокупностью взаимосвязанных выражений:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_0 = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m\} \equiv G_0; \\ \dots \\ A_{0j\dots j} = \{a_{j\dots j1}, a_{j\dots j2}, \dots, a_{j\dots ji}, \dots, a_{j\dots jm}\} \equiv G_0 G_{0j} \dots G_{0j\dots j}; \\ \dots \\ A_{0j\dots jn} = \{a_{j\dots jn}\} \equiv G_0 G_{0j} \dots G_{0j\dots jn}. \end{array} \right. \quad (17)$$

где:  $A_{0j\dots j}$  – образец ПКО (индивидуальный экземпляр);  $G_0 G_{0j} \dots G_{0j\dots j}$  – составной назначенный идентификационный код образца ПКО;  $n$  – порядковый номер нижнего уровня классификации ПКО (для каждой конкретной ветви классификации ПКО).

Алгоритм классификации и кодирования характеристических сведений для последующей идентификации вида НшС и выработки вариантов управленческих решений представлен выражением:

$$w_{jini} = \left\langle G_0 G_{0j} \dots G_{0j\dots n}; \left\{ \begin{array}{l} ((b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1i}, \dots, b_{1n}); R_1(t); S_1(t)); \\ ((b_{21}, b_{22}, \dots, b_{2i}, \dots, b_{2n}); R_2(t); S_2(t)); \\ \dots \\ ((b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ii}, \dots, b_{in}); R_i(t); S_i(t)); \\ \dots \\ ((b_{k1}, b_{k2}, \dots, b_{ki}, \dots, b_{kn}); R_k(t); S_k(t)). \end{array} \right. \right\rangle \quad (18)$$

где:  $w_{jini}$  – идентификационный код вида НшС на типе ПКО с идентификационным кодом  $G_0 G_{0j} \dots G_{0j\dots n}$ ;  $b_{ii}$  – совокупность характеристических параметров, описывающих данный вид НшС на данном типе ПКО;  $k$  – количество наиболее вероятных разновидностей НшС на данном типе ПКО;  $R_k(t)$  – ресурсы, необходимые для локализации ЧП в течение времени  $t$  для данного вида НшС;  $S_k(t)$  – размер вторичного ущерба, который наиболее вероятен для данного варианта реакции по локализации ЧП за время  $t$ .

Выработка вариантов решений по реакции на ЧП осуществляется на основе априорно установленных и программно реализованных решающих правил. В общем случае алгоритм реализации решающих правил основан на сравнении характеристических сведений о виде НшС на данном ПКО с априорно установленными критериальными сведениями по данному типу НшС:

$$\left\{ \begin{array}{l} (A = B) \rightarrow C_1; \\ (A \neq B) \rightarrow C_2. \end{array} \right. \quad (19)$$

где:  $A$  – исходная характеристика НшС;  $B$  – критерии квалификационной оценки для идентификации НшС;  $C_1$  – вариант решения по результатам идентификации НшС, когда вид НшС однозначно идентифицирован;  $C_2$  – вариант решения для не полностью идентифицированного вида НшС.

Состав информационных ресурсов, необходимых для уточнения сведений по критериальным условиям возможности реализации конкретного

варианта решений  $D(C_1)$ , должен уточняться на очередной итерации алгоритма идентификации вида НшС и выработки решений с помощью решающего правила:

$$\begin{cases} [D(t_i) = D(C_1)] \rightarrow C_3; \\ [D(t_i) \neq D(C_1)] \rightarrow C_4. \end{cases} \quad (20)$$

где:  $D(C_1)$  – критериальные требования по условиям реализации вариантов решения  $C_1$ ;  $D(t_i)$  – фактические сведения по критериальным факторам решения  $C_1$  в текущий момент времени  $t_i$ ;  $C_3$  – подтверждение реализуемости выбранного решения, не требующего дополнительных сведений о возможности реализации данного решения;  $C_4$  – установление необходимости получения дополнительных сведений из внешних источников по критериальным условиям возможной реализации потенциальных решений.

Во втором разделе обоснован и разработан алгоритм оперативного поиска дополнительных информационных ресурсов во взаимодействующих АИС. В процессе анализа и идентификации вида НшС выявляется потребность в некоторой совокупности сведений  $X$ :

$$X = \begin{cases} x_1(a_{11}a_{12} \dots a_{1i} \dots a_{1m}); \\ \dots \\ x_j(a_{j1}a_{j2} \dots a_{ji} \dots a_{jm}); \\ \dots \\ x_k(a_{k1}a_{k2} \dots a_{ki} \dots a_{km}). \end{cases} \quad (21)$$

где:  $X$  – совокупные потребности в информационных ресурсах для идентификации НшС и выработки решений;  $x_j$  – один из видов ИР, требующих уточнения значений входящих в него реквизитов;  $(a_{j1}a_{j2} \dots a_{ji} \dots a_{jm})$  – виды информации (атрибуты, реквизиты), входящие в состав запрашиваемого ИР, упорядоченные в соответствующей логической связи.

На основе сформулированных потребностей в дополнительных ИР формируется комплексный запрос  $Q(t)$  на получение соответствующих ИР из внешних АИС:

$$Q_{\Sigma}(t) = \begin{cases} Q_1(t) = f_q(x_1, t); \\ \dots \\ Q_j(t) = f_q(x_j, t); \\ \dots \\ Q_k(t) = f_q(x_k, t). \end{cases} \quad (22)$$

где:  $Q_{\Sigma}(t)$  – сводный запрос на дополнительные ИР;  $Q_j(t)$  – частный запрос на  $j$ -ый вид ИР, сформированный на основе информационной потребности  $x_j$  в момент времени  $t$ ;  $f_q$  – функция преобразования записи информационной потребности  $x_j$  в запросное сообщение  $Q_j$ .

Преобразование частных запросов  $Q_j(t)$  в эквивалентные по смысловому содержанию совокупности частных запросов  $M_Q(x_{ji})$  во взаимодействующие системы производится с использованием априорных знаний, содержащихся в базах метаданных:

$$M_{Q_i}(t) = \begin{cases} M_{i1} = f_M(a_1a_2); \\ \dots \\ M_{ii} = f_M(a_1a_i); \\ \dots \\ M_{im} = f_M(a_1a_m). \end{cases} \quad (23)$$

где:  $M_{Q_i}(t)$  – пакет запросных сообщений во внешние АИС, сформированный из одного входного запроса  $Q_i$ ;  $M_{ii}$  – совокупность частных запросных сообщений на получение запрашиваемых ИР, полученных путем декомпозиции входного запросного сообщения  $Q_i$  и преобразования полученных частных запросов с использованием базы метаданных;  $f_M(a_1a_i)$  – функция преобразования форматов запросных сообщений с использованием метаданных, определяющая также рациональную адресацию частных запросных сообщений по критерию минимизации общего времени  $t_{ИР}$  сбора ответов на частные запросы и интеграции необходимых ИР.

Модель совокупности ИР во взаимодействующих АИС можно представить в виде взвешенного ориентированного графа. Вершинами графа являются значения ИР (содержательная информация) с учетом их принадлежности к конкретной АИС. Вес ребер графа характеризуется значениями параметров  $z_{S_iS_j}$  маршрута следования запросов и ответов между парами взаимодействующих АИС и АСОУ СН:

$$G = (S, D); \quad (24)$$

где:  $|S| = m$  – количество доступных АИС;  $D$  – множество пар вершин графа  $G$  (ребра графа).

Оптимальная длина маршрута  $d_{\min}$  в представленном графе  $G$  находится с помощью алгоритма Дейкстры:

$$d_{\min} = \min(\sum k_{1m}^1; \sum k_{1m}^2; \dots; \sum k_{1m}^h); \quad (25)$$

где:  $\sum k_{1m}^i$  – сумма всех значений веса ребер (коэффициентов) между начальной и конечной вершиной графа  $G$ .

В результате выполнения разработанного алгоритма оперативного поиска дополнительных ИР обеспечивается формирование совокупности частных запросов на дополнительные ИР, структурированных согласно правилам представления данных во взаимодействующих АИС – источниках ИР:

$$M_{Q_\Sigma}(t) = \begin{cases} M_{Q_1}(t) = \langle \{M_{11}, \dots, M_{1m}\}; R_1; d_1 \rangle; \\ \dots \\ M_{Q_i}(t) = \langle \{M_{i1}, \dots, M_{ih}\}; R_i; d_i \rangle; \\ \dots \\ M_{Q_k}(t) = \langle \{M_{k1}, \dots, M_{kl}\}; R_k; d_k \rangle. \end{cases} \quad (26)$$

где:  $R_i$  – совокупность правил доступа к соответствующей АИС;  $d_i$  – критерий, определяющий маршрут рационального доступа к соответствующей АИС.

Третий раздел посвящен обоснованию и разработке алгоритма синтеза полученных дополнительных информационных ресурсов. Для обеспечения дальнейшей операции синтеза ИР полученные ответы из АИС преобразуются из форматов соответствующих АИС в формат данных, принятый в АСОУ СН  $H: A'_\Sigma(M_{Q_\Sigma}(t)) \rightarrow A_\Sigma(M_{Q_\Sigma}(t))$ :

$$A_\Sigma(M_{Q_\Sigma}(t)) = \begin{cases} A_1(M_{Q_1}(t)) = \langle \{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1m}\}; \{h(a_{11}), \dots, h(a_{1m})\} \rangle; \\ \dots \\ A_i(M_{Q_i}(t)) = \langle \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ih}\}; \{h(a_{i1}), \dots, h(a_{ih})\} \rangle; \\ \dots \\ A_k(M_{Q_k}(t)) = \langle \{a_{k1}, a_{k2}, \dots, a_{kl}\}; \{h(a_{k1}), \dots, h(a_{kl})\} \rangle. \end{cases} \quad (27)$$

В основе разработки алгоритма синтеза запрошенных дополнительных ИР принят метод суперпозиции частных ответов на запросы, который для одного итогового информационного сообщения  $A(t)$  может быть представлен выражением:

$$A(t) = A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_i \cup \dots \cup A_m; \quad (28)$$

где:  $A(t)$  – итоговое информационное сообщение о запрошенном дополнительном ИР;  $A_i$  – частное ответное информационное сообщение из адресованной АИС, преобразованное к формату данных АСОУ СН;  $\cup$  – символ объединения (наложения) частных ответов  $A_i$  друг на друга в последовательности приоритетов налагаемых (сравниваемых) одноименных реквизитов.

На первом шаге процедуры синтеза производится логическое сравнение двух частных сообщений  $A_1$  и  $A_2$  из двух соответствующих АИС. В результате этой процедуры будет получено новое информационное поле  $A_{12}$ , содержащее несовпадающие между собой реквизиты из первых частных сообщений:

$$A_{12} = [A_1(a_1^A a_3^A)] \cup [A_2(a_1^A a_4^A)] = A_{12}(a_1^A a_3^A a_4^A); \quad (29)$$

где:  $a_1^A, a_3^A, a_4^A$  – содержательная информация, соответствующая наименованиям запросных реквизитов  $(a_1, a_3, a_4)$ .

На следующем шаге информационное сообщение  $A_{12}(a_1^A a_3^A a_4^A)$  дополняется на основе логического сравнения с информацией из очередного частного ответа:

$$A_{12i} = [A_{12}(a_1^A a_3^A a_4^A)] \cup [A_i(a_1^A a_i^A)] = A_{12i}(a_1^A a_3^A a_4^A a_i^A); \quad (30)$$

Процедура пошагового синтеза результирующего содержания ИР должна продолжаться до тех пор, пока не будут использованы все частные сообщения полученных частных ИР из взаимодействующих АИС:

$$i = m; \quad (31)$$

где:  $i$  – текущий номер частного ИР;  $m$  – количество частных ИР, полученных по данному групповому запросу на дополнительный ИР.

Сформированные указанным способом запрошенные дополнительные ИР подлежат использованию для уточнения вида НшС и уточнения наиболее рационального варианта решения по локализации ЧП и минимизации вторичного ущерба.

В **четвертой главе** приводятся результаты экспериментальных исследований положений диссертационной работы применительно к двум предметным областям.

Для проведения экспериментальных исследований по автоматизации информационной поддержки принятия решений по локализации НшС и минимизации ущерба от возникших ЧП была выбрана служба участковых уполномоченных (СУУ) г. Москвы, как типичный пример ОС СН в части решения задач мониторинга текущего состояния ПКО в ТЗО и оперативного реагирования на возникающие НшС и ЧП.

На основе моделей и алгоритмов, рассмотренных в диссертационной работе, была разработана и внедрена в промышленную эксплуатацию (при непосредственном участии автора) специализированная АСОУ СН – автоматизированная информационная система поддержки деятельности СУУ ГУВД г. Москвы (АИС ПДУУ).

Задача экспериментальных исследований эффективности АИС ПДУУ заключалась в оценке времени выработки решений по локализации НшС и ликвидации ущерба от ЧП. Результаты экспериментальных исследований (время реакции по НшС с момента сообщения о ЧП) приведены в табл. 1.

Исходя из полученных экспериментальных значений времени выработки решений по реакции на НшС с применением АИС ПДУУ (табл. 1) установлено, что при наличии априорно сформированной базы знаний время выработки решения составляет в среднем около 7 минут (в зависимости от ситуации). Таким образом, время реакции (время выработки решений по НшС в пределах г. Москвы) уменьшилось в десятки раз по сравнению со временем реакции без использования автоматизированных средств, что подтверждает достоверность, реализуемость и практическую эффективность моделей и алгоритмов, разработанных в диссертационной работе.

Вторым направлением практического применения и экспериментальных исследований достоверности положений диссертационной работы является информационная поддержка решений в предметной области сервисного обслуживания и войскового ремонта вооружений и военной техники (ВВТ) противовоздушной обороны (ПВО) военно-воздушных сил (ВВС) России.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований (время выработки решений по реакции на НшС с применением АИС ПДУУ)

Типовой ПКО	Типовое ЧП со значительным вторичным ущербом	Время идентификации ПКО и НшС <sup>1</sup>	Состав интегрируемых ИР	Время обработки совокупности запросов на дополнительные ИР	Общее время обработки информации (первичной и вторичной)	Общее время принятия решения <sup>2</sup>
Жилое строение	Взрыв в подъезде	1-2 минуты	1. Список жильцов (потенциальных пострадавших) 2. Характеристики строения (в частности, энергообеспечение) 3. Сведения о родственниках пострадавших	Не более 30 секунд по каждой АИС	2-3 минуты	Не более 5 минут
Промышленное предприятие	Авария с потенциальной возможностью выброса опасных веществ	2 минуты	1. Характеризующие сведения соседних ПКО в ТЗО 2. Режимность предприятия	Не более 30 секунд по каждой АИС	5 минут	Не более 10 минут
Объект инфраструктуры	Выход из строя из-за неправильной эксплуатации	2 минуты	1. Характеризующие сведения обслуживаемых ПКО 2. Адресные данные эквивалентных объектов	Не более 30 секунд по каждой АИС	4 минуты	Не более 8 минут
Автотранспорт	ДТП, повлекшее за собой тяжкие увечья или смерть	3 минуты	1. Сведения о владельцах транспортных средств, попавших в ДТП 2. Сведения о пострадавших в ДТП 3. Сведения о родственниках пострадавших	Не более 30 секунд по каждой АИС	1-2 минуты	Не более 5 минут
Население в ТЗО	Массовые беспорядки в ТЗО	2 минуты	1. Сведения о владельцах пострадавшего имущества 2. Сведения о пострадавших 3. Сведения о родственниках пострадавших 4. Перечень близлежащих лечебных учреждений	Не более 30 секунд по каждой АИС	4 минуты	Не более 8 минут

<sup>1</sup> – при условии корректного использования программного обеспечения (АРМ нижнего уровня) из состава АИС ПДУУ;

<sup>2</sup> – включая время на анализ интегрированных данных ЛПР.

Работа в этой предметной области выполнялась в рамках ОКР «Искательство», головным исполнителем которой являлось ОАО «ГЦСО ПВО «Гранит» концерн ПВО «Алмаз-Антей».

Экспериментальные исследования проводились с использованием реальных данных по составным частям изделий 35Р6 и 40Р6, а также априорных знаний по способам устранения наиболее вероятных неисправностей. Результаты экспериментальных исследований подтвердили реализуемость и эффективность алгоритмов, обоснованных и разработанных в ходе диссертационных исследований.

### **Основные выводы и результаты**

В результате проведенного исследования по теме диссертации решена научная задача обоснования и разработки моделей и алгоритмов информационной поддержки принятия решений по локализации НшС и минимизации возможного вторичного ущерба от ЧП в условиях априорной неопределенности характеристик НшС при множестве подконтрольных объектов и с учетом ограничений на время принятия решений.

Основными научными результатами диссертационной работы являются:

1. Обоснована и разработана модель обработки исходной информации о текущем состоянии подконтрольных объектов при нештатных ситуациях с целью локализации нештатной ситуации и минимизации размера вторичного ущерба от последствий ЧП.

2. Обоснован и разработан метод снижения степени априорной неопределенности нештатной ситуации на основе структурирования типов подконтрольных объектов и видов наиболее вероятных нештатных ситуаций с применением иерархической модели классификации ПКО и фасетной классификации НшС.

3. Обоснован и разработан метод оперативного получения дополнительных информационных ресурсов из взаимодействующих АИС и БД, необходимых для снижения степени неопределенности нештатных ситуаций и выработки необходимых управленческих решений по реакции на текущую нештатную ситуацию.

4. Разработан комплекс алгоритмов информационной поддержки принятия решений, обеспечивающий снижение степени априорной неопределенности текущей нештатной ситуации и минимизацию времени получения и обработки дополнительной информации, необходимой для выработки управленческих решений.

5. Разработанные решения по автоматизации информационной поддержки внедрены в АИС ПДУУ и в АСУ ПР из состава МРДК. Экспериментальные исследования подтвердили достоверность, реализуемость и практическую эффективность моделей и алгоритмов, разработанных в настоящей диссертационной работе.

Практическая ценность работы состоит в том, что полученные в ходе диссертационного исследования модели и алгоритмы используются в составе АИС ПДУУ г. Москвы и АСУ КУСВР ВВТ ПВО, предназначенные для локализации нештатных ситуаций и минимизации возможного ущерба от чрезвычайных происшествий в условиях априорной неопределенности характеристик нештатной ситуации при множестве подконтрольных объектов и с учетом необходимого времени принятия решений.

Основные положения и решения диссертационной работы использованы:

1. При выполнении НИОКР в ЗАО «МКБ «Параллель».
2. При выполнении НИОКР в ОАО «ГЦСО ПВО «Гранит».
3. В структурных подразделениях службы участковых уполномоченных ГУВД г. Москвы.

### **Список основных публикаций по теме диссертации**

1. Малышев А.С., Дикусар В.В., Страхов А.Ф.. Методика снижения априорной неопределенности нештатной ситуации. Труды Института системного анализа РАН «Динамика неоднородных систем». Т. 50(1). – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010, – с. 167-171.
2. Малышев А.С., Дикусар В.В., Страхов А.Ф.. Оперативный доступ и синтез информационных ресурсов, необходимых для поддержки принятия решений. Труды Института системного анализа РАН «Динамика неоднородных систем». Т. 50(1). – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010, – с. 162-166.
3. Малышев А.С., Страхов А.Ф., Страхов О.А. Автоматизированная информационная система поддержки деятельности участковых уполномоченных милиции Москвы. Вопросы радиоэлектроники. Гл. ред. С.А. Муравьев. – М.: "ЦНИИ "Электроника", 2009. – Вып. 1. – с. 155-167.
4. Малышев А.С., Страхов А.Ф., Страхов О.А.. Автоматизированная система учета персональных данных населения. Патент 87279 РФ МПК G 06 F 17/30. Заявитель и патентообладатель «МКБ «Параллель». – № 2009106037/22. Опубликовано 27.09.2009, Бюл. № 27. – 2 стр. : ил.
5. Малышев А.С., Страхов А.Ф., Страхов О.А.. Автоматизированное рабочее место ведения книги сообщений о происшествиях. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2009612238 РФ. Заявитель и правообладатель «МКБ «Параллель» (RU). 30.04.2009.
6. Малышев А.С., Страхов А.Ф., Чистяков М.М. Варианты решений по информационной безопасности при выполнении работ по техническому обслуживанию и ремонту изделий ВВТ. Тезисы докладов. XII научно-техническая конференция. Современные научно-технические проблемы и направления совершенствования вооружения и средств информационного обеспечения войск РКО. – М.: Московский

военный институт радиоэлектроники космических войск. – 2007. – с. 224-225.

### Список сокращений, принятых в автореферате

АИС	– автоматизированная информационная система
АИС ПДУУ	– автоматизированная информационная система поддержки деятельности участковых уполномоченных
АСОУ СН	– автоматизированная система организационного управления специального назначения
АСУ ПР	– автоматизированная система управления процессами и ресурсами
БД	– база данных
ВВТ	– вооружение и военная техника
ИР	– информационные ресурсы
КУСВР	– комплекс унифицированных средств войскового ремонта
МРДК	– мобильный ремонтно-диагностический комплекс
НшС	– нештатная ситуация
ОС СН	– оперативная служба специального назначения
ПВО	– противовоздушная оборона
ПКО	– подконтрольный объект
ТЗО	– территориальная зона ответственности
ЧП	– чрезвычайное происшествие
ЧС	– чрезвычайная ситуация