

## **СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ЛИКВИДАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЧС НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТНОГО ПОДХОДА**

*Снижение риска и последствий техногенных чрезвычайных ситуаций в значительной мере зависит от адекватности принимаемых решений по их предупреждению, локализации и ликвидации. Предлагается архитектура и методы обработки информации системы поддержки принятия решений на основе настраиваемой модели прецедента.*

*Ключевые слова: рассуждения по прецедентам, сценарии чрезвычайных ситуаций, деревья событий.*

*A.F. Berman, O.A. Nikolaychuk, A.I. Pavlov, A.Y. Yurin*

## **DECISION SUPPORT SYSTEM FOR PREVENTION AND LIQUIDATION OF TECHNOGENIC EMERGENCY SITUATIONS ON BASIS OF CASE-BASED APPROACH**

*Reducing the risk and consequences of technogenic emergency situations significantly dependent from adequacy of the decisions for the prevention, localization and liquidation. This paper considers. The architecture and methods of information processing of the decision support system on basis of case-based reasoning with customizable model of the case are proposed.*

*Key words: case-based reasoning, scenarios of technogenic emergency, event trees.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 23 июля 2013 г.

### **Введение**

Снижение риска и последствий техногенных *чрезвычайных ситуаций (ЧС)* в значительной мере зависит от адекватности принимаемых решений по предупреждению, локализации и ликвидации ЧС. В настоящее время информационно-аналитическое обеспечение для поддержки принятия подобных решений на местном и региональном уровнях либо отсутствует, либо недостаточно.

Для накопления и обработки информации в основном используются стандартные текстовые редакторы и табличные процессоры (наиболее распространенные Microsoft Word и Microsoft Excel различных версий), аналитическая обработка информации выполняется без использования *систем поддержки принятия решений (СППР)*.

Кроме того, накапливаемая в настоящее время информация (формы 1-4 МЧС) не позволяет осуществлять анализ динамики ЧС, адекватности принятых решений, ошибок, допущенных при локализации и ликвидации ЧС. Затруднено использование существующего опыта ликвидации и локализации ЧС для проведения эффективного планирования и своевременного принятия решений по смягчению последствий ЧС на начальных этапах их развития. В подобных

ситуациях для принятия эффективных решений необходимо привлечение высококвалифицированных специалистов, что не всегда выполнимо в условиях дефицита времени и обуславливает значительную зависимость качества полученных решений от человеческого фактора.

Одним из подходов к повышению эффективности и оперативности принятия решений и, как следствие, снижению затрат на предупреждение, локализацию и ликвидацию ЧС является применение **методов искусственного интеллекта**, в частности **экспертных систем**, позволяющих формализовать и применять знания экспертов в сочетании с теоретическими и эмпирическими зависимостями, описывающими закономерности возникновения ЧС [1].

### Концепция СППР

В процессе создания СППР необходимо решение следующего ряда проблем:

- определения **релевантной** информации, которую необходимо накапливать;
- обоснования формы **представления** накапливаемой информации;
- разработки методов обработки **разнородной** накопленной и формализованной информации;
- **интерпретации** результатов обработки информации.

Каждая из этих проблем требует анализа и учёта особенностей предметных областей, характеристики которых используются для решения поставленных задач.

При анализе информации о ЧС на начальном этапе её развития существует проблема достаточности информации для проведения качественного анализа ситуации и эффективного планирования и принятия решений по локализации, ликвидации и снижению последствий ЧС.

На начальном этапе сбора информации о ЧС фиксируется следующий набор параметров: объект, на котором произошла ЧС; тип/вид ЧС; источник ЧС; площадь; количество пострадавших людей; количество пострадавших зданий и сооружений; причина ЧС; ущерб; силы и средства, задействованные для ликвидации ЧС. Данная информация не позволяет провести анализ динамики ЧС, адекватности принятых и планируемых решений, ошибок при локализации и ликвидации ЧС, а также использовать опыт локализации и ликвидации подобных ЧС при поддержке принятия решений, так как этот опыт не отражен в сохраняемой информации по ЧС.

Для решения данной проблемы необходима разработка информационной модели чрезвычайной ситуации, которая позволит учитывать: динамику ЧС на основе выделений стадий; набор мероприятий, проводимых при локализации и ликвидации ЧС на каждой стадии; силы и средства, используемые для локализации и ликвидации ЧС на каждой стадии. При этом разработанная модель должна быть однозначно отображена в модель представления знаний, используемую при интеллектуальной обработке информации.

Очень важным аспектом при выборе формы представления накопленной информации является не только однозначность её отображения, но и точность, так как использование некоторых форм представления и обработки информации приводит к её огрублению и потере существенных для принятия решения деталей.

По этой причине *рассуждения по аналогии (по прецедентам, case-based reasoning)* [2] являются одним из эффективных подходов при реализации интеллектуальных систем поддержки принятия решений в различных предметных областях, в частности, подбор кадров на ту или иную должность, анализ отказов и аварий, управление обучением и др. Данный подход является реализацией *метода интеллектуального анализа данных (Data Mining)*.

Широкое же применение данного подхода сдерживается в основном малым количеством российских программных разработок в данной области, так как работы ведутся в основном в академических кругах и не выходят за рамки исследовательских прототипов.

*Рассуждения по аналогии* позволяют выявить аналогичную рассматриваемой ситуации и адаптировать принятое ранее решение с учётом условий текущей ситуации. При этом информация о ситуациях представляется в виде *структурированных образов – прецедентов*, на основе фреймового представления знаний в полном соответствии с информационной моделью ЧС.

Таким образом, предлагается разработать СППР для предупреждения и ликвидации ЧС, используя рассуждения по аналогии (прецедентный подход) для представления и обработки информации. Особенностью предлагаемой реализации является обеспечение возможности настройки модели прецедента на основе модели предметной области и обобщенной структуры прецедента, определяющей проблему и её решение. Разработка моделей прецедента осуществляется поэтапно: строится модель предметной области (однократно, с возможностью дальнейшего развития и совершенствования), определяются решаемые задачи, разрабатываются модели проблемы и решения прецедента, выбираются алгоритмы оценки близости и адаптации. Необходимо отметить, что особые требования к алгоритму поиска ближайшего аналога выдвигаются, если необходимо в модели прецедента учитывать динамику рассматриваемой ситуации и адаптировать решения, принимаемые на разных стадиях и описанные в различных прецедентах-аналогах.

На рис. 1 представлена предлагаемая архитектура СППР, основными компонентами которой являются:

- блок информационного обеспечения, предоставляющий пользователю доступ к хранилищу данных системы, содержащему *базы данных (БД)* с описанием опасных объектов, сил и средств территориальных, функциональных и ведомственных или отраслевых подсистем и звеньев РСЧС, динамики чрезвычайных ситуаций и прецедентные *базы знаний (БЗ)*, сформированные пользователем для решения задач управления ЧС;

- прецедентный компонент, обеспечивающий распознавание текущей проблемной ситуации, информация о которой представлена в виде некоего образа (прецедента) и поиск похожих образов, содержащихся в хранилище образов (базе прецедентов) с использованием метрики Ю.И. Журавлева [3]. Данный компонент включает машину вывода, редактор структуры прецедента и прецедентную БЗ;

- компонент группового выбора, позволяющий обобщать множество индивидуальных мнений (предпочтений), полученных на основе прецедентного подхода, и формировать на их основе одно агрегированное мнение – отношение группового предпочтения [4];

- компонент сценарного моделирования, выполняющий моделирование возможных состояний объекта исследования (построение дерева событий) на основе анализа информации о динамике ЧС, описанной в виде прецедентов. Данный компонент включает блок формирования сценариев развития ЧС и блок отображения сценариев развития ЧС [5];

- блок отображения информации, обеспечивающий визуализацию информации об опасных объектах на контролируемой территории, доступных силах и средствах, поражающих факторах с использованием геоинформационных технологий;

- компонент оперативного оповещения, осуществляющий информирование подразделений и их руководство о динамике развития ЧС с помощью СМС и e-mail.

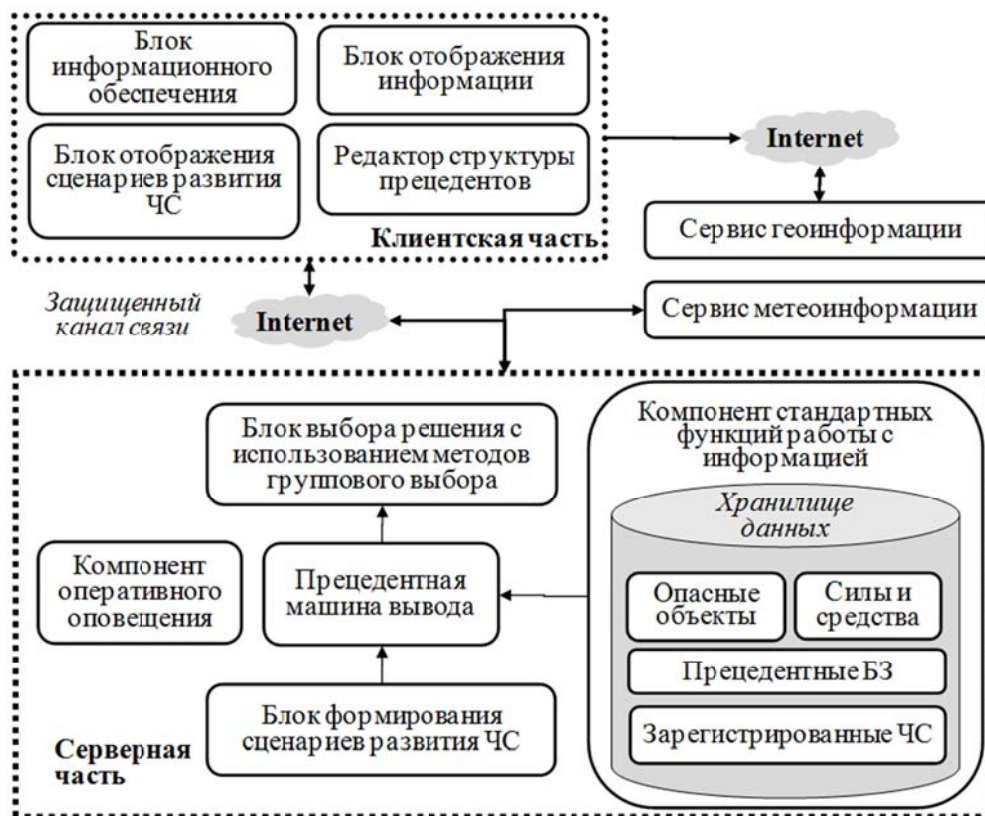


Рис. 1. Архитектура СППР

Интерфейс программной системы представлен на рис. 2.

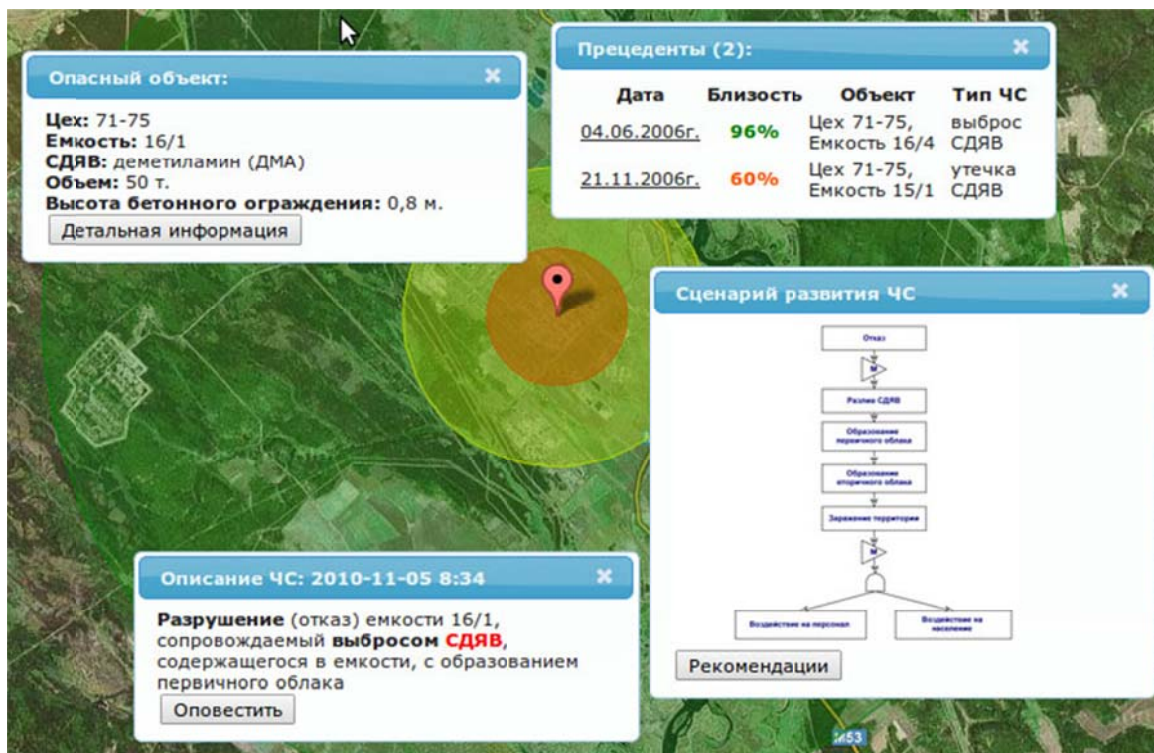


Рис. 2. Пример экранной формы СППР

### Информационная модель ЧС

Информация о чрезвычайной ситуации для отображения её динамики имеет следующую структуру (рис. 3).

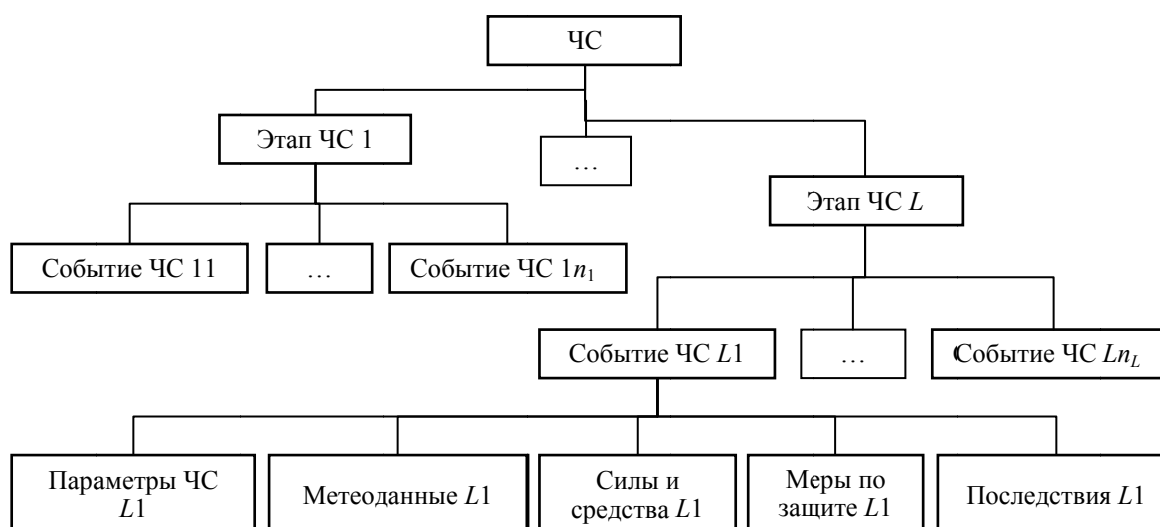


Рис. 3. Иерархия понятия "чрезвычайная ситуация"

Событие ЧС  $c_{jk}^i$  описывается множеством параметров  $p_n$  согласно приведённой структуре

$$c_{jk}^i = \{p_n\}_{jkn}^i,$$

где  $c_{jk}^i$  –  $k$ -событие на  $j$ -этапе  $i$ -ЧС;

$n$  – индекс параметра ЧС;

$$n = \overline{1, N_n}.$$

Тогда ЧС представляется в виде множества параметров, соответствующих событиям и этапам:

$$chc^i = (\{p_n\}_{11n}^i, \dots, \{p_n\}_{1K_1n}^i, \dots, \{p_n\}_{L_i 1n}^i, \dots, \{p_n\}_{L_i K_{L_i} n}^i), \quad (1)$$

где  $chc^i$  – информация о  $i$ -чрезвычайной ситуации;

$L_i$  – число этапов  $i$ -чрезвычайной ситуации;

$K_{L_i}$  – число событий  $L_i$ -этапа ЧС.

Базу прецедентов образует информация о чрезвычайных ситуациях, представленная в виде (1), то есть:  $CaseBase = \{chc^i\}_{i=\overline{1, N}}$ .

### Модель прецедента

Прецедентный подход предполагает описание прецедента в виде совокупности компонентов "Проблема" и "Решение":

$$Case = \langle Problem, Decision \rangle,$$

где  $Case$  – описание прецедента.

Рассматривая прецедентный подход как реализацию метода интеллектуального анализа данных, необходимо обеспечить динамическое формирование прецедентной модели, то есть формирование модели, исходя из условий решаемой задачи.

Если имеется описание предметной области, как совокупность объектов (понятий), в виде множества  $\{a_s\}_s$ , где  $s$  – индекс объекта, тогда модель прецедента для решения задачи  $z_q$  представляется как

$$Case(z_q) = \langle Problem = \{a_{q_s}\}_{s=\overline{1, S_p}}, Decision = \{a_{q_s}\}_{s=\overline{1, S_d}} \rangle,$$

где элементы прецедента определяются (настраиваются) пользователем-аналитиком;

$S_p$  – число объектов, описывающих проблему;

$S_d$  – число объектов, описывающих решение.

Для отображения вариантов моделей представим событие ЧС в виде кортежа

$$c = \langle WD, PS, FR, PR, EF \rangle,$$

где  $WD$  – метео данные;

$PS$  – параметры ЧС;

$ER$  – силы и средства;

$PR$  – меры по защите;

$EF$  – последствия.

Задачи анализа ЧС, то есть анализа причин (задача  $z_{q1}$ ), последствий (задача  $z_{q2}$ ), сценариев (задача  $z_{q3}$ ) и др., определяют следующие варианты моделей прецедентов:

$$Case^{q_1} = \langle Problem = (PS), Decision = (FR) \rangle;$$

$$Case^{q_2} = \langle Problem = (PS), Decision = (PR) \rangle;$$

$$Case^{q_3} = \langle Problem = (WD, PS), Decision = (EF) \rangle \text{ и др.}$$

### **Алгоритм поиска аналога**

Предлагается поиск аналогов ЧС осуществлять путем последовательного поиска аналогов событий текущей ЧС:

Шаг 1. Выбор первого события текущей ЧС.

Шаг 2. Поиск аналогов выбранного события текущей ЧС. Событие текущей ЧС сравнивается со всеми событиями в базе прецедентов. Сравнение осуществляется на основе расстояния, вычисляемого по метрике Хэмминга. Близость прецедентов-аналогов ЧС определяется как произведение близости всех событий.

Шаг 3. Уменьшение пространства поиска за счет исключения прецедентов (ЧС), не содержащих описание данного события.

Шаг 4. Если проанализированы все события ЧС, то завершение алгоритма, иначе выбор следующего события текущей ЧС и переход на Шаг 2.

### **Алгоритм построения сценария ЧС**

Прогнозируемые сценарии ЧС описываются деревом событий, которое может быть построено на основе анализа прецедентной информации.

На первом этапе необходимо исключить избыточность прецедентной информации, обусловленной её особенностью. В частности, этапы ЧС могут формироваться, исходя из появления новой (неучтённой ранее) информации или из регламента отчётности органов МЧС по текущей ЧС (1 час, 4 часа, 7 часов); в этом случае информация может дублироваться из этапа в этап, при условии, если ЧС не изменяется динамично.

Исключение избыточности прецедентной информации возможно за счёт слияния этапов ЧС на основе следующего анализа:

Шаг 1. Выбираем прецедент ЧС для анализа.

Шаг 2. Определяем близость (расстояние Хэмминга, Журавлева) этапов ЧС.

Шаг 3. Выбирается два последовательных этапа ЧС.

Шаг 4. Если расстояние между этапами равно 0, то анализируются значения параметров событий ЧС с помощью продукционной БЗ, содержащей знания о возможных критических отличиях событий. Если критические отличия событий отсутствуют, то принимается решение о слиянии (поглощении) событий, то есть информация о событиях сливается в одно событие ЧС.

Шаг 5. Если проанализированы все этапы ЧС, то завершение алгоритма, иначе переход на Шаг 3.

База знаний содержит, например, следующие правила о критических изменениях событий ЧС:

**правила о последствиях**

- если изменился интервал (5-10-50 и др.) числа погибших, то изменение – критическое;

- если изменился интервал (10-50-100 и др.) числа пострадавших, то изменение – критическое;

- если изменился интервал (5-10-50 и др.) числа разрушенных зданий, сооружений, коммуникаций, то изменение – критическое;

**правила о видах ЧС**

- если вид ЧС – наводнение И значительно изменился уровень воды, то изменение – критическое;

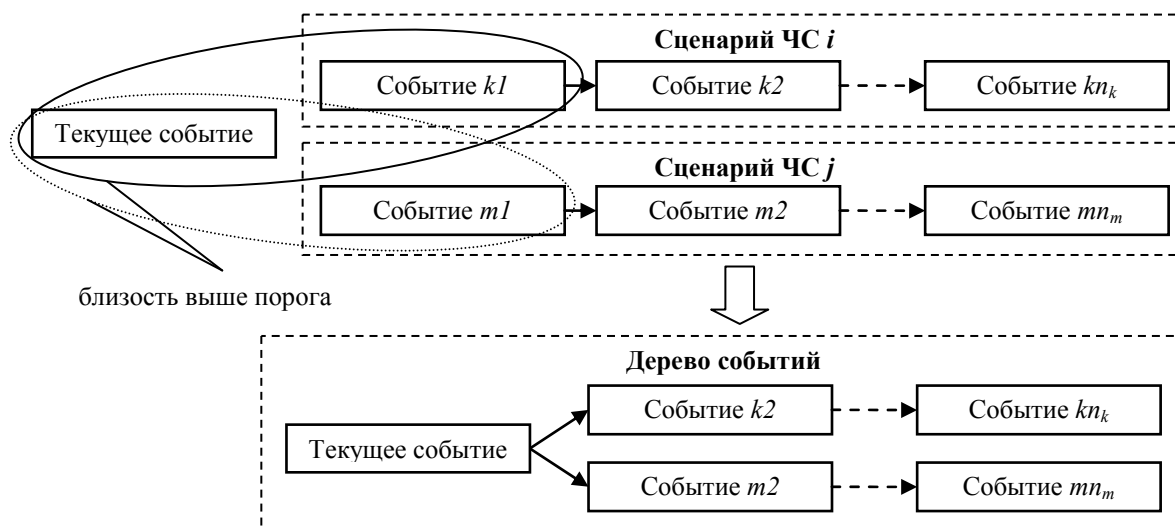
- если вид ЧС – (химическое заражение ИЛИ пожар) И изменилось направление ветра, то изменение – критическое.

На *втором этапе* прецеденты, а в данном контексте сценарии ЧС, агрегируются в дерево событий:

Шаг 1. Описывается текущее событие ЧС.

Шаг 2. Осуществляется поиск прецедентов-аналогов, где присутствуют события, являющиеся аналогами рассматриваемому событию. При построении дерева событий учитываются только те прецеденты-аналоги, где оценка близости удовлетворяется заданному порогу.

Шаг 3. Производится агрегация сценариев ЧС, представленных в прецедентах-аналогах (рис. 4). Агрегация может быть более эффективной, если использовать рассмотренный выше алгоритм для уменьшения избыточности (дублирования) информации, осуществляя слияние событий сценариев (рис. 5).



**Рис. 4.** Агрегация сценариев ЧС



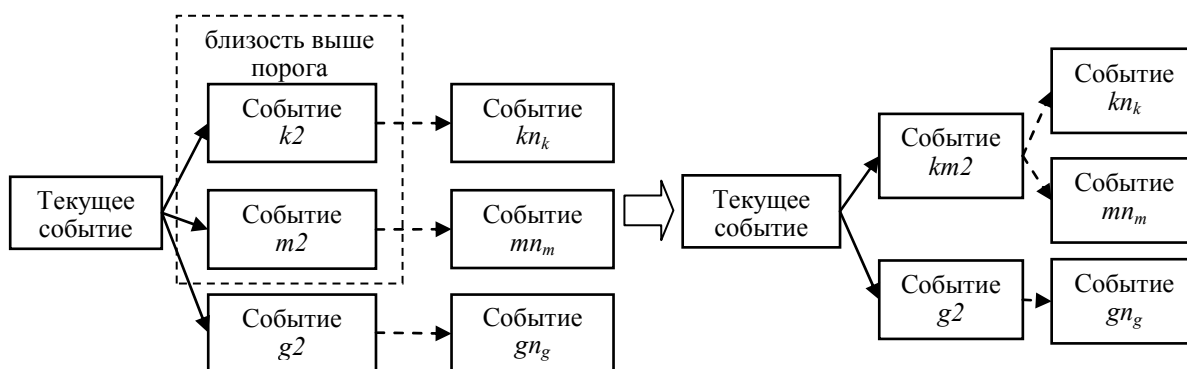


Рис. 5. Слияние событий сценариев ЧС

### Заключение

Новизна концепции СППР заключается в обеспечении настраиваемой модели прецедента, а также в сочетании различных методов моделирования ЧС: прецедентного подхода, методов сценарного моделирования и группового принятия решений. Данное сочетание не только расширяет функциональность разрабатываемой системы, но и придает системе свойства универсальности (как настраиваемого инструментария).

Результаты прогнозирования и интеллектуального анализа данных могут быть использованы для выделения новых закономерностей и установления причинно-следственных связей для описания динамики формирования ЧС на объектах экономики Иркутской области.

Созданные программные модули будут интегрированы в автоматизированную систему исследования надежности и безопасности сложных технических систем, разрабатываемую коллективом лаборатории информационных технологий исследования природной и техногенной безопасности ИДСТУ СО РАН. Разработанная СППР, как программный продукт, может быть использована территориальными службами МЧС России для предотвращения, локализации и ликвидации ЧС.

Работа поддержана грантом Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 гг., заявка № 2012-1.2.2-12-000-2007-027.

### Литература

1. *Берман А.Ф.* Информатика катастроф // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. № 3. С. 17-37.
2. *Aamodt A., Plaza E.* Case-Based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches // AI Communications. 1994. V. 7. N. 1. Pp. 39-59.
3. *Николайчук О.А., Юрин А.Ю.* Применение прецедентного подхода для автоматизированной идентификации технического состояния деталей механических систем // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 5. С. 3-9.
4. *Юрин А.Ю., Малтугужева Г.С.* Применение методов группового выбора в составе прецедентных экспертных систем для обоснования мероприятий по предотвращению повторных отказов технологического оборудования // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 9. С. 26-34.
5. *Павлов Н.Ю.* Интеллектуальная программная система автоматизированного построения деревьев событий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 1. С. 57-63.