

УДК 681.5:504

Н. И. ЮСУПОВА, Г. Р. ШАХМАМЕТОВА, К. Р. ЕНИКЕЕВА**МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ
ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПАСНОСТЕЙ
ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА**

Рассматриваются вопросы разработки модели представления знаний для интеллектуальной информационной поддержки принятия решений при создании паспортов безопасности промышленных объектов. Поддержка принятия решений; база знаний; производственная модель; экспертная система; паспорт безопасности

В настоящее время в Российской Федерации функционируют свыше 2,5 тыс. химически опасных объектов, более 1,5 тыс. радиационно-опасных объектов, 8 тыс. пожаро- и взрывоопасных объектов, более 30 тыс. гидротехнических сооружений и других объектов. Большая часть их представляет не только экономическую, оборонную и социальную значимость для страны, но и потенциальную опасность для здоровья и жизни населения, а также окружающей природной среды [1]. В зонах возможного воздействия поражающих факторов при авариях на этих объектах проживают свыше 90 млн жителей страны [2]. Таким образом, возникает необходимость разработки и осуществления превентивных мероприятий в области защиты от чрезвычайных ситуаций (ЧС). Для достижения этой цели в частности на государственном уровне разработана и реализуется Федеральная и региональные целевые программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 г.». В них входят такие мероприятия, как «разработка и внедрение информационных и прогнозно-аналитических систем, в том числе геоинформационных экспертных систем», «проведение комплексных исследований с использованием методов математического моделирования для выявления закономерностей в области обеспечения техногенной безопасности, выработки вероятных сценариев развития ситуаций и поддержки принятия необходимых ре-

шений», паспортизация промышленных объектов [3].

Одним из важнейших мероприятий в области защиты от ЧС является разработка паспортов безопасности (ПБ) промышленных объектов. Паспорта безопасности промышленных объектов разрабатывают с целью проведения всестороннего анализа риска, определения его показателей для персонала опасного объекта и проживающего вблизи населения, разработки мероприятий по снижению уровня риска и смягчению последствий ЧС на опасном объекте.

Для поддержки принятия решений, повышения эффективности этого процесса, а также достоверности результатов целесообразно использовать возможности современных информационных технологий для разработки интеллектуальной информационной поддержки принятия решений при проведении анализа риска опасных промышленных объектов для повышения эффективности процесса создания паспортов безопасности.

**1. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ
ПАСПОРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Для формирования перечня задач интеллектуальной информационной поддержки процесса паспортизации опасных объектов выделим этапы разработки ПБ [4]. Этот процесс можно условно разделить на пять основных этапов:

- выявление опасных точек объекта;

Исследования проводятся в рамках научно-исследовательских работ «Исследование и разработка интеллектуальной технологической поддержки принятия решений и управления на основе инженерии знаний» (№ темы ИФ-ВК-01-08-03).

Контактная информация: (347)273-79-67

- определение сценариев развития аварий;
- расчет последствий реализации сценариев;
- расчет показателей риска;
- составление рекомендаций по снижению уровня риска (при необходимости).

Под опасными точками в данном контексте понимаются агрегаты, в которых обращается опасное вещество, и которые могут стать «эпицентрами» возможных аварий: резервуары, ресиверы, цистерны, трубопроводы и т. д. Для дальнейшего рассмотрения берутся только наиболее показательные узлы, аварии на которых могут повлечь наибольший ущерб, либо вероятности их возникновения являются наибольшими.

Для поддержки принятия решения о том, какие опасные точки будут рассматриваться, создана пополняемая база знаний, в которую внесены «узкие» места опасных объектов различных видов (ТЭЦ, пищевых комбинатов, нефтеперекачивающих станций и т. д.). Так, например, для АЗС это следующие узлы: резервуары хранения нефтепродуктов, автоцистерна (привозящая топливо), топливораздаточные колонки (ТРК), маслораздаточные колонки (МРК). Пример разбиения некоторых опасных объектов на опасные точки приводится на рис. 1.

2. МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПАСНОСТЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА

Для поддержки принятия решений на этапе идентификации опасностей промышленных объектов, то есть для определения перечня опасных точек и возможных сценариев развития аварий, авторами предлагается создать экспертную систему. При выполнении данного этапа разработки паспортов безопасности используются представления разработчика о том или ином опасном объекте, технологических процессах, происходящих на нем, физико-химических свойствах опасных веществ и др. При этом анализируются сведения об имевших место авариях, путях их протекания на аналогичных реальных промышленных объектах. Вся эта информация носит ярко выраженный характер знаний. Таким образом, логично было предложить применение баз знаний для коалиции имеющихся сведений и разработки системы поддержки принятия решений.

База знаний содержит описание предметной области и представляет концептуальный

уровень информации в системе, необходимый для интеграции источников данных и организации содержательного поиска в них [5].

Модели представления знаний можно классифицировать следующим образом [6]:

- 1) продукционные модели;
- 2) семантические сети;
- 3) фреймы;
- 4) формальные логические модели.

Под продукционной моделью понимается способ представления знаний в виде предложений типа «Если (левая часть правила), то (правая часть правила)» [7]. Характерными признаками продукционной модели является наглядность, высокая модульность, легкость внесения дополнений и изменений в базу знаний.

Семантическая сеть — это ориентированный граф, вершинами которого являются понятия, а дугами обозначаются отношения между ними.

Под фреймом понимается абстрактный образ для представления стереотипа восприятия, служит для обозначения структуры знаний для восприятия пространственных сцен.

Формальные логические модели представления знаний основаны на описании предметной области в виде совокупности аксиом [8].

Анализ предметной области и существующих моделей представления знаний показал, что для решения поставленных задач хорошо подходит продукционная модель. Основой для построения базы знаний станут разработанные «деревья событий» для анализа возможных путей развития аварий на различных промышленных объектах.

Для разработки прототипа базы знаний (и дальнейшей реализации в экспертной системе) были взяты одни из наиболее часто встречающихся промышленных объектов: АЗС, аммиачные холодильные установки (АХУ), которые применяются на пищевых комбинатах для хранения продуктов, и ТЭЦ. Проанализированы нормативные документы, паспорта безопасности аналогичных объектов. Согласно этому были выделены атрибуты правил и значения, которые они могут принимать (табл. 1), а также заключения.

Фрагмент перечня заключений (всего 63) приводится в табл. 2. В нашем случае заключения правил представляют собой сценарии развития возможных аварий на промышленных объектах с указанием вероятности их реализации и названием методики дальнейших расчетов параметров поражающих факторов.

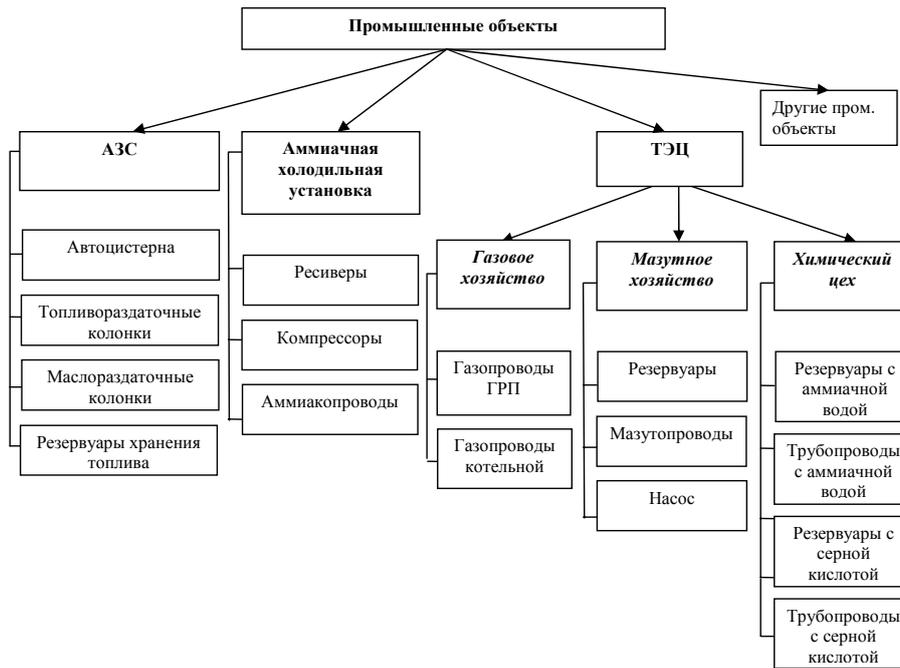


Рис. 1. Промышленные объекты и их опасные точки

Таблица 1

Атрибуты условия в правилах и их возможные значения

Обозначение	Атрибут	Значение (условное обозначение)
$F_{ПО}$	Вид промышленного объекта	АЗС ($f_{ПО}^{АЗС}$), Аммиачная холодильная установка ($f_{ПО}^{АХУ}$), ТЭЦ ($f_{ПО}^{ТЭЦ}$)
$F_{АЗС}$	Опасные точки АЗС	Автоцистерна ($f_{АЗС}^{АЦ}$), топливораздаточная колонка ($f_{АЗС}^{ТРК}$), маслораздаточная колонка ($f_{АЗС}^{МРК}$), резервуар хранения топлива ($f_{АЗС}^{РТ}$)
$F_{АХУ}$	Опасные точки АХУ	Резивер ($f_{АХУ}^Р$), компрессор ($f_{АХУ}^К$), аммиакопровод ($f_{АХУ}^{АП}$)
$F_{ТЭЦ}$	Опасные производства ТЭЦ	Газовое хозяйство ($f_{ТЭЦ}^{ГХ}$), мазутное хозяйство ($f_{ТЭЦ}^{МХ}$), химический цех ($f_{ТЭЦ}^{ХЦ}$)
$F_{ГХ}$	Опасные точки газового хозяйства	Газопровод ГРП ($f_{ГХ}^{ГРП}$), газопровод котельной ($f_{ГХ}^{ГК}$)
$F_{МХ}$	Опасные точки мазутного хозяйства	Резервуар хранения мазута ($f_{МХ}^{РМ}$), мазутопровод ($f_{МХ}^{МП}$), насос ($f_{МХ}^Н$)
$F_{ХЦ}$	Опасные точки химического цеха	Резервуар хранения аммиачной воды ($f_{ХЦ}^{РА}$), трубопровод аммиачной воды ($f_{ХЦ}^{ТПА}$), резервуар хранения серной кислоты ($f_{ХЦ}^{РСК}$), трубопровод серной кислоты ($f_{ХЦ}^{ТПСК}$)
F_p	Разгерметизация	Полная, частичная
$F_{МВ}$	Мгновенное воспламенение	Произошло, не произошло
$F_{лр}$	Локализация и ликвидация разлива	Своевременная, несвоевременная
$F_{иэ}$	Наличие источника зажигания	Есть, нет
$F_{лп}$	Локализация и ликвидация пожара	Своевременная, несвоевременная
F_c	Вероятность сценария	Более вероятный ($f_c^{БВ}$), менее вероятный ($f_c^{МВ}$)
F_T	Вид топлива	Бензин ($f_T^{БН}$), дизельное топливо ($f_T^{ДТ}$)

Таблица 2

Фрагмент разработанных заключений правил

Условное обозначение	Заключение правила
Сазс1	Сценарий: Частичная разгерметизация автоцистерны (АЦ) на территории АЗС (срыв трубы при сливе; нарушения герметичности АЦ) ⇒ истечение бензина с мгновенным воспламенением ⇒ образование пожара пролива ⇒ воздействие теплового излучения на окружающие объекты ⇒ отсутствие своевременных действий по тушению пожара ⇒ разогрев АЦ до критической температуры, прогрев бензина по глубине, повышение давления ⇒ разрыв АЦ с образованием волны давления ⇒ воздействие ударной волны. Вероятность реализации: $1,25 \cdot 10^{-6}$ Модель расчета: Давление при взрыве резервуара с перегретой жидкостью
...	...
Сазс23	Сценарий: «Малое дыхание» подземного резервуара хранения бензина через дыхательный клапан ⇒ образование облака ТВС ⇒ появление источника зажигания (удар молнии) ⇒ взрыв облака ТВС ⇒ воздействие ударной волны. Вероятность: $3,6 \cdot 10^{-6}$ Модель расчета: взрыв ТВС, давление при сгорании ГПС в открытом пр-ве
Саху1	Сценарий: Частичная разгерметизация ресивера, содержащего газообразный и жидкий аммиак ⇒ выброс газообразного и жидкого аммиака ⇒ истечение жидкого аммиака в приемный бассейн для аварийных разливов аммиака ⇒ образование первичного и вторичного облака ⇒ распространение аммиачного облака по территории ⇒ токсическое воздействие. Вероятность: $9,0 \cdot 10^{-7}$ Модель расчета: заражение СДЯВ при аварии на химически опасных объектах
...	...
Саху8	Сценарий: Полная разгерметизация (порыв) аммиакопровода холодильных камер ⇒ истечение аммиачно-воздушной смеси из трубопровода ⇒ вскипание жидкого аммиака ⇒ образование токсического аммиачного облака ⇒ распространение аммиачного облака в помещении ⇒ распространение аммиачного облака по территории ⇒ токсическое воздействие. Вероятность: $2,5 \cdot 10^{-7}$ Модель расчета: Заражение СДЯВ при аварии на химически опасных объектах
Стэц1	Сценарий: Частичная разгерметизация (утечка газа в месте фланцевого соединения) газопровода в помещении ГРП ⇒ мгновенное взрывное воспламенение газа в помещении ⇒ воздействие ударной волны. Вероятность: $9,8 \cdot 10^{-8}$ Модель расчета: Взрыв ТВС, Взрыв парогазовых сред, а также твердых и жидких нестабильных соединений
...	...
Стэц32	Сценарий: Полная разгерметизация (порыв) трубопровода при перекачке серной кислоты ⇒ пролив жидкого продукта на подстилающую поверхность ⇒ испарение пролива ⇒ образование вторичного облака ⇒ распространение аммиачного облака по территории ⇒ токсическое воздействие. Вероятность: $2,5 \cdot 10^{-7}$ Модель расчета: Заражение СДЯВ при аварии на химически опасных объектах

Разработанные производственные правила базы знаний для определения опасных точек и возможных сценариев развития аварий имеют следующий вид:

$$r_i : F_{\text{ПО}}; \text{Если } A_1 \text{ И } A_2 \dots \text{ И } A_n \text{ То } S_c = C_{\text{ПО}}^k,$$

где r_i – имя i -й продукции,

$F_{\text{ПО}}$ – сфера применения продукции,

A_j – j -е условие правила,

S_c – заключение правила,

$C_{\text{ПО}}^k$ – k -й сценарий аварии.

Фрагмент базы знаний, состоящей из правил продукции, представлен в табл. 3.

Для наглядности они приводятся в сокращенной форме. Например, правило 1 выглядит следующим образом: Если вид промышленного объекта – АЗС и опасная точка АЗС – автоцистерна и разгерметизация частичная и мгновенного воспламенения не произошло и ликвидация пожара несвоевременная, то Сценарий: Частичная разгерметизация автоцистерны (АЦ) на территории АЗС (срыв трубы при сливе; нарушения герметич-

ности АЦ) \Rightarrow истечение бензина с мгновенным воспламенением \Rightarrow образование пожара пролива \Rightarrow воздействие теплового излучения на окружающие объекты \Rightarrow отсутствие своевременных действий по тушению пожара \Rightarrow разогрев АЦ до критической температуры, прогрев бензина по глубине, повышение давления \Rightarrow разрыв АЦ с образованием волны давления \Rightarrow воздействие ударной волны. Вероятность реализации: $1,25 \cdot 10^{-6}$. Модель расчета: «Давление при взрыве резервуара с перегретой жидкостью».

Разработанные правила характеризуются определенной степенью универсальности применения для анализа разного рода опасных объектов. Атрибуты правил были выделены таким образом, чтобы сделать возможной (удобной, наглядной) работу с базой знаний как специалистов в области промышленной безопасности, так и не очень опытных (начинающих) пользователей. Также система, основанная на разработанной базе знаний, может применяться руководством промышленных объектов для анализа возможных происшествий и их последствий, обучения новобранцев-спасателей, в учебном процессе вузов.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СЦЕНАРИЕВ

Вероятность реализации для каждого из сценариев возможно определять при помощи построения сетей доверия Байеса [9]. Байесовская сеть — это ориентированный граф, в котором каждая вершина помечена количественной вероятностной информацией:

1) вершинами сети является множество случайных переменных. Переменные могут быть дискретными и непрерывными;

2) вершины соединяются попарно ориентированными ребрами; ребра образуют множество ребер. Если стрелка направлена от вершины x к вершине y , то вершина x называется родительской вершиной вершины y .

3) каждая вершина x характеризуется распределением условных вероятностей $P(X_i/Parents(X_i))$, которое количественно оценивает влияние родительских вершин на эту вершину;

4) граф не имеет циклов, состоящих из ориентированных ребер, и поэтому является ориентированным ациклическим графом (Directed Acyclic Graph);

5) использование сетей Байеса совместно с аппаратом математической статистики дает ряд преимуществ для анализа данных [10]:

- модель отражает зависимости для всех переменных множества, она легко справляется с ситуациями, когда часть данных отсутствует;

- сети Байеса могут быть использованы для выявления причинно-следственных зависимостей и, следовательно, для более точного понимания проблем, связанных с конкретной предметной областью;

- модель имеет как причинно-следственную, так и вероятностную семантику, следовательно, она является идеальным средством для совместного представления экспертных знаний (часто служащих источником причинно-следственных зависимостей) и статистических данных. Пример построенной сети для вышеприведенного дерева событий представлен на рис. 2.

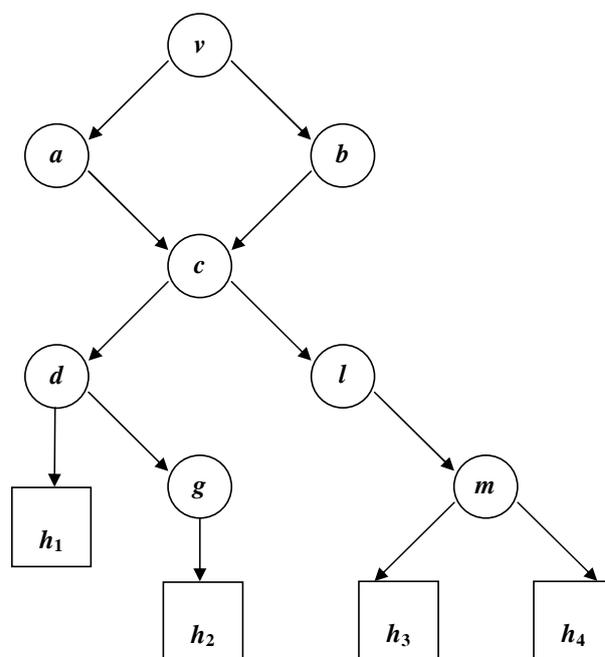


Рис. 2. Байесовская сеть доверия для определения вероятности наступления сценариев аварий на автоцистерне АЗС

Здесь v, a, b, c, d, g, m — свидетельства (события), где

v — разгерметизация;

a — полная разгерметизация;

b — частичная разгерметизация;

c — мгновенное воспламенение;

d — своевременная ликвидация разлива;

g — появление источника зажигания;

l — возникновение пожара пролива;

m — своевременное тушение пожара;

h_1, h_2, h_3, h_4 — гипотезы (исходы сценариев), где

Фрагмент базы знаний

№	Правило
АЗС	
R1	Если $F_{по} = f_{ПО}^{АЗС}$ и $F_{АЗС} = f_{АЗС}^{АП}$ и F_p = частичная и $F_{мв}$ = произошло и $F_{лп}$ = несвоевременная, то $C_{АЗС}^1$
R2	Если $F_{по} = f_{ПО}^{АЗС}$ и $F_{АЗС} = f_{АЗС}^{АП}$ и F_p = частичная и $F_{мв}$ = произошло и $F_{лп}$ = своевременная, то $C_{АЗС}^2$
...	...
R22	Если $F_{по} = f_{ПО}^{АЗС}$ и $F_{АЗС} = f_{АЗС}^{РТ}$ и $F_C = f_C^{6B}$, то $C_{АЗС}^{22}$
R23	Если $F_{по} = f_{ПО}^{АЗС}$ и $F_{АЗС} = f_{АЗС}^{РТ}$ и $F_C = f_C^{MB}$, то $C_{АЗС}^{23}$
АХУ	
R24	Если $F_{по} = f_{ПО}^{АХУ}$ и $F_{АХУ} = f_{АХУ}^P$ и F_p = частичная, то $C_{АХУ}^1$
...	...
R31	Если $F_{по} = f_{ПО}^{АХУ}$ и $F_{АХУ} = f_{АХУ}^{АП}$ и F_p = полная и $F_{из}$ = нет, то $C_{АХУ}^8$
ТЭЦ	
R32	Если $F_{по} = f_{ПО}^{ТЭЦ}$ и $F_{ТЭЦ} = f_{ТЭЦ}^{ГХ}$ и $F_{ГХ} = f_{ГХ}^{ГРП}$ и F_p = частичная и $F_{мв}$ = произошло, то $C_{ТЭЦ}^1$
R33	Если $F_{по} = f_{ПО}^{ТЭЦ}$ и $F_{ТЭЦ} = f_{ТЭЦ}^{ГХ}$ и $F_{ГХ} = f_{ГХ}^{ГРП}$ и F_p = частичная и $F_{мв}$ = не произошло и $F_{из}$ = есть, то $C_{ТЭЦ}^2$
...	...
R62	Если $F_{по} = f_{ПО}^{ТЭЦ}$ и $F_{ТЭЦ} = f_{ТЭЦ}^{ХЦ}$ и $F_{ХЦ} = f_{ХЦ}^{ТПСК}$ и F_p = частичная, то $C_{ТЭЦ}^{31}$
R63	Если $F_{по} = f_{ПО}^{ТЭЦ}$ и $F_{ТЭЦ} = f_{ТЭЦ}^{ХЦ}$ и $F_{ХЦ} = f_{ХЦ}^{ТПСК}$ и F_p = полная, то $C_{ТЭЦ}^{32}$

h_1 — ликвидация разлива без образования поражающих факторов;

h_2 — взрыв облака ТВС;

h_3 — своевременная ликвидация пожара;

h_4 — BLEVE (взрыв автоцистерны с перегретой жидкостью).

Классическим способом учесть неопределенность знаний, возникающую из вероятностного поведения объекта, можно при помощи вычисления вероятностной оценки предполагаемых гипотез (значений достигаемых целей) на основе правила Байеса. Байесовский подход предполагает начальное априорное знание гипотез, которые последовательно уточняются с учетом вероятностей свидетельств в пользу или против гипотез, в результате чего формируются апостериорные вероятности. Коэффициент определенности описательных утверждений либо указывается пользователем (для исходных данных), либо (для выведенных утверждений) вычисляется по правилу Байеса [11].

Вероятность истинности гипотезы H_i при возникновении свидетельств $E_1 E_j$ рассчитывается по формуле:

$$P(H_i | E_1 \dots E_j) = \frac{P(E_1 | H_i) \cdot P(E_2 | H_i) \dots \cdot P(E_j | H_i) \cdot P(H_i)}{\sum_{k=1}^n P(E_1 | H_k) \dots \cdot P(H_k)},$$

где H_i — i -я гипотеза, $i = 1, \dots, n$;

E_j — j -е свидетельство, $j = 1, \dots, m$;

$P(E_j | H_i)$ — вероятность наблюдения основания E_j , если истинно H_i ;

$P(H_i)$ — вероятность истинности H_i , $i = 1, \dots, n$;

n — число возможных гипотез.

Таким образом, можно рассчитать апостериорную вероятность реализации того или иного сценария (исхода), зная априорные вероятности возникновения предшествующих событий (данные статистики и экспертного оценивания).

Определенную трудность представляет установление самой вероятности возникновения аварии (головного события). Существует несколько подходов к ее решению [12–15]. Вероятность возникновения аварии в рамках данного исследования предлагается осуществлять на основании имеющихся статистических данных об отказах оборудования и частоте возникновения аварийных ситуаций при его эксплуатации [16–21], совместно с применением метода экспертного оценивания по аналогичным объектам.

Темой для дальнейших исследований является разработка методологии и алгоритмов оценки вероятности возникновения аварии для каждого конкретного объекта путем повышения или понижения общей статистической вероятности (средней для данного вида промышленного объекта) исходя из результатов экспертной оценки по конкретному объекту.

Таблица 4

Фрагмент опросного листа персонала опасного объекта

Вопрос	Варианты ответов	Отметьте выбранное «+»
Как часто на вашем участке случаются аварийные ситуации?	Никогда	
	Раз в несколько лет	+
	Раз в год	
	Чаше, чем раз в год	
	Постоянно	
Как часто на Вашем участке осуществляется замена оборудования?	Один раз в год	
	Раз в 5 лет	+
	Реже, чем раз в 5 лет	
Знаете ли Вы, что нужно делать в случае аварийной ситуации?	Да, знаю точно всю последовательность действий	
	Знаю примерно, что нужно делать	+
	Ничего об этом не знаю	
...		

Допустим, известно, что по статистике частота (вероятность) разгерметизации резервуара $1 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹. Чтобы значение более соответствовало данному опасному объекту, проводится экспертная оценка следующим образом. Составляется опросный лист для работников предприятия [22]. Листы раздаются начальникам, мастерам, рабочим. Фрагмент примерного опросного листа для рабочих представлен в табл. 4.

При этом экспертами уже присвоены числовые значения (веса) каждому пункту. Учитывается также процент износа агрегатов, соблюдение графика техобслуживания, ремонта оборудования.

Данные по предприятию вносятся в программу, и путем имитационного моделирования рассчитывается вероятность возникновения аварии для каждого из опасных узлов. Причем полученное значение является не самой вероятностью, а повышающим или понижающим коэффициентом для статистической вероятности, взятой в целом по аналогичным объектам. Это позволит снизить влияние возможных неточных, неправильных данных, фальсификаций.

Пример: статистическая вероятность разгерметизации резервуара составляет 1×10^{-5} год⁻¹. На данном конкретном объекте соблюдаются все требования безопасности, график ремонтов, износ оборудования незна-

чителен, персонал хорошо обучен. Путем программного моделирования получаем результат, что вероятность может быть снижена до (например) $5 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹.

4. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОТИПА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Для реализации разработанной базы знаний об опасных точках и сценариях развития аварий (создания прототипа экспертной системы) было решено использовать оболочку экспертной системы «EXSYS» RuleBook, относящуюся к системам дедуктивного продукционного типа. Экспертные системы могут быть разработаны с EXSYS программным обеспечением для любой программной области, в которой для решения какой-либо задачи необходимо сделать выбор среди определенного набора вариантов, а процесс достижения этого решения основан на логических шагах. Любая проблемная область, где человек или группа людей имеют специальные экспертные знания, необходимые другим, является возможной областью применения ПО EXSYS [23].

Процесс реализации ЭС в «EXSYS» RuleBook включает следующие шаги:

- ввод альтернатив (choices) — т. е. ответов (заключений) ЭС;

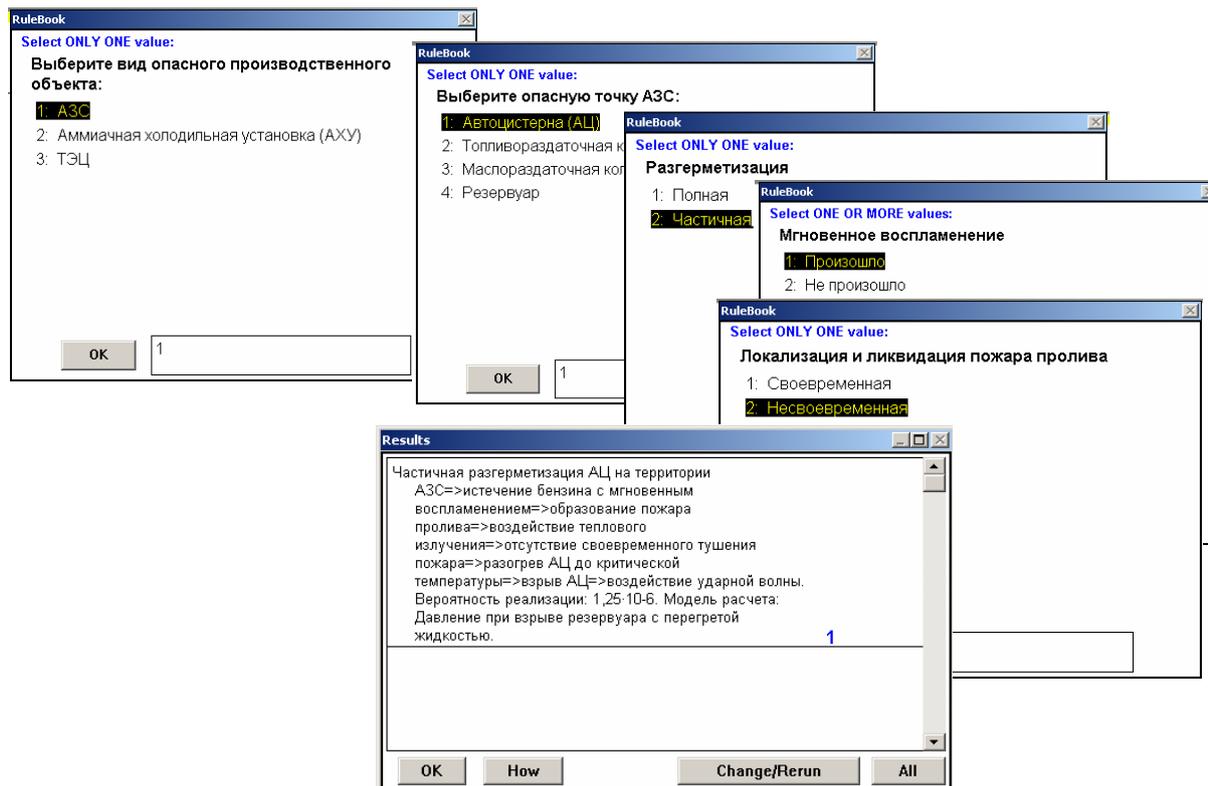


Рис. 3. Пример диалогового режима работы ЭС для определения опасных точек и сценариев развития аварий на промышленных объектах

- ввод факторов (factors), которые будут использоваться, чтобы сделать выбор (вопросы ЭС);
- ввод диаграммы в виде дерева решений по выбору альтернатив, основанных на различных комбинациях факторов;
- проверка созданной системы с помощью блока CheckSystem RuleBook, который автоматически проверяет ЭС на наличие общих ошибок, в том числе и на непротиворечивость правил.

В RuleBook логика принятия решений представлена в виде диаграммы дерева решений. Каждый блок дерева является одним из факторов. Каждая ветвь дерева имеет две части — часть «ЕСЛИ» и часть «ТО». Узлы «ЕСЛИ» — условные выражения. Узлы «ТО» — присваивание величины фактору или выбору. Каждая ветвь в дереве преобразуется в правило (rule). В RuleBook используются правила продукции вида «ЕСЛИ» ... «ТО». Таким образом, разработанные нами продукционные модели представления знаний удобно реализовать с помощью данной оболочки ЭС.

Прежде всего определяется перечень альтернатив (choices). Альтернативами являются возможные сценарии развития аварий на производственном объекте, вероятность их

реализации и названия модели (моделей) для последующего расчета параметров поражающих факторов, реализованной в рамках специализированной программы для расчета последствий аварий в ГИС. Набор факторов (factors) экспертной системы для определения опасных точек и сценариев развития возможных аварий представляет собой набор атрибутов правил базы знаний. Затем строится дерево решений по выбору альтернатив, основанных на различных комбинациях вышеприведенных факторов.

На рис. 3 приведен пример диалогового режима работы экспертной системы.

Пользователь, последовательно отвечая на вопросы ЭС, получает ответ в виде сценария возможной аварии. Далее можно увидеть само правило, посредством которого было получено решение.

Вероятности реализации определенной ветви логической цепи определялись методом построения сетей Байеса (см. п. 4) и расчета апостериорной вероятности реализации того или иного сценария, исходя из априорных вероятностей возникновения предшествующих событий, взятых на основании сведений, содержащихся в нормативных документах, специализированной литературе (данные статистики) и экспертного оценивания. Вероят-

ность реализации сценария указана в ответе ЭС после сценария. Далее приводится название методики расчета параметров поражающих факторов.

Достоинствами разработанной экспертной системы являются наглядность, доступность для понимания широкого круга пользователей, простота внесения изменений и дополнений в систему.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны модели представления знаний для интеллектуальной информационной поддержки принятия решений при создании паспортов безопасности, отличающиеся тем, что основаны на применении продукционных правил вывода для данной предметной области, которые составляют основу для разработки соответствующего алгоритмического обеспечения информационной поддержки принятия решений на этапах выявления опасностей и определения возможных сценариев развития аварий на промышленных объектах. Разработан прототип экспертной системы для информационной поддержки принятия решений на этапе идентификации опасностей промышленного объекта. Прототип создан на основе разработанной базы знаний об источниках опасностей, возможных сценариях развития аварий и реализован в оболочке «EXSYS» RuleBook.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белов, П. Г.** Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере : учеб. пособие для вузов / П. Г. Белов. М. : Академия, 2003. 512 с.
2. **Вишняков, Я. Д.** Безопасность жизнедеятельности. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я. Д. Вишняков, В. И. Вагин, В. В. Овчинников, А. Н. Стародубец. М. : Академия, 2007. 304 с.
3. **Федеральная** целевая программа «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года» (утв. постановлением Правительства РФ от 6 января 2006 г. № 1). 30 с.
4. **Юсупова, Н. И.** Системное моделирование процесса информационной поддержки разработки паспортов безопасности опасных производственных объектов / Н. И. Юсупова, С. А. Митакович, К. Р. Еникеева // Вестник УГАТУ Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2008. Т. 10, № 2 (27). С. 80–87.
5. **Калиниченко, Л. А.** Машины баз данных и знаний / Л. А. Калиниченко, В. М. Рывкин. М. : Наука, 1990. 296 с.
6. **Гаврилова, Т. А.** Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. СПб. : Питер, 2000. 384 с.
7. **Ревунков, Г. И.** Базы и банки данных и знаний / Г. И. Ревунков, Э. Н. Самохвалов, В. В. Чистов. М. : Высш. шк., 1992. 367 с.
8. **Искусственный интеллект.** Кн.1. Системы общения и экспертные системы : справ. М. : Радио и связь, 1990. 464 с.
9. **Джексон, П.** Введение в экспертные системы / П. Джексон. 2001. 624 с.
10. **Интеллектуальные технологии и системы :** сб. ст. аспирантов и студентов. Вып. 2. М. : Изд-во МГУП, 1999. 304 с.
11. **Савчук, В. П.** Байесовские методы статистического оценивания: надежность техн.объектов / В. П. Савчук. М. : Наука, 1989. 322 с.
12. **Еникеева, К. Р.** Проблемы оценки риска возникновения аварий на опасных производственных объектах / К. Р. Еникеева // Информационные технологии и математические методы исследований в экономике : мат. Башк.-саксонск. форума. Уфа, 2006. Т. 1. С. 142–148 (Статья на англ. яз.).
13. **Еникеева, К. Р.** К вопросу об оценке риска аварий на опасных производственных объектах / К. Р. Еникеева // Принятие решений в условиях неопределенности : межвуз. науч. сб. Вып. 4. Уфа : УГАТУ, 2007. С. 255–261.
14. **Иванов, И. В.** Комплексное оценивание техногенного риска для информационной поддержки процессов управления безопасностью территорий в составе промышленного региона : дисс.... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук / И. В. Иванов. Уфа, 2007. 161 с.
15. **Токарев, Д. В.** Оценка вероятности возникновения аварий на нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических предприятиях / Д. В. Токарев // Нефтегазовое дело. 2005 [Электронный ресурс] (http://www.ogbus.ru/authors/Tokarev/Tokarev_2.pdf).
16. **Руководство** по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. М. : ВНИИПО, 2006. 93 с.
17. **E&P Forum**, «Hydrocarbon Leak and Ignition Database», Report No. 11/4/180.1992 [Форум по разведке и добыче. «База данных об утечках и возгораниях углеводородов», отчет № 11/4/180, 1992].
18. **EGIG** (European Gas Pipeline Incident Data Group) : third report: Gas Pipeline Incident 1970–1997 EGIG Document No. 98.R.0120 December 1998 [Группа сбора данных об авариях на газопроводах в Европе. Третий отчет. Аварии на газопроводах, 1970–1997 гг. Документ Группы сбора данных об авариях на газопроводах в Европе № 98. R. 0120, декабрь 1998 г.].

19. **Маршалл, В.** Основные опасности химических производств / В. Маршалл. М. : Мир, 1989. 671 с.
20. **Бесчастнов, М. В.** Промышленные взрывы, оценка и предупреждение / М. В. Бесчастнов. М. : Химия, 1991. 432 с.
21. **Мартынюк, В. Ф.** Защита окружающей среды в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие для вузов / В. Ф. Мартынюк, Б. Е. Прусенко. М. : ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. 336 с.
22. **Литвак, Б. Г.** Экспертная информация; методы получения и анализа / Б. Г. Литвак. М. : Радио и связь, 1982. 184 с.
23. **Черняховская, Л. Р.** Исследование методики разработки баз знаний на основе экспертной системы EXSYS и книги правил RULEBOOK : метод. указ. к лаб. работам по курсу «Методы искусственного интеллекта, базы знаний, экспертные системы» / Л. Р. Черняховская, Е. Б. Старцева, Н. О. Никулина. Уфа : УГАТУ, 1997. 26 с.



ОБ АВТОРАХ

Юсупова Нафиса Исламовна, проф., зав. каф. выч. мат. и киб., декан ФИРТ. Дипл. радиофизик (Воронежск. гос. ун-т, 1975). Д-р техн. наук по упр-ю в техн. сист. (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. критич. сит. упр-я, информатики.



Шахмаметова Гузель Радиковна, доцент кафедры вычислит. математики и кибернетики УГАТУ. Дипл. инженер по информационным системам (УАИ, 1987). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2000). Исслед. в обл. интеллект. методов поиска траекторий многозвенных манипуляторов, систем искусств. интеллекта.



Еникеева Карина Рафаэлевна, асп. каф. выч. мат. и киб. Дипл. инж. по защ. в чрезв. сит. (УГАТУ, 2005). Готовит дис. в обл. промышл. безопасности.