

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



А.М. Алексеев

**СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА ШАХТАХ**

Монография

Днепропетровск
НГУ
2015

УДК 004.8:622.8
ББК 32.813:33 н
А 47

*Рекомендовано до друку вченою радою Державного ВНЗ «НГУ»
(протокол № 3 від 24.03.2015).*

Рецензенти:

В.В. Гнатушенко, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих систем обробки інформації (Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара);

Є.І. Кучеренко, д-р техн. наук, професор, професор кафедри штучного інтелекту (Харківський національний університет радіоелектроніки).

Алексеев А.М.

А 47 Система интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах: монография / А.М. Алексеев; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т – Д.: НГУ, 2015. – 142 с.

ISBN 978-966-350-535-0

Сформулированы основные направления автоматизации информационной поддержки процесса управления оперативными действиями при авариях. На основе концептуального представления знаний построена онтологическая модель предметной области «Система интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах».

Разработан метод автоматизированного формирования проектов оперативных планов, который обеспечивает использование аккумулированного в базе знаний опыта управления действиями горноспасательных подразделений. Методы основаны на адаптированном синтаксисе и семантике языка иерархического сетевого планирования.

Для специалистов в области информационных технологий, аспирантов и студентов старших курсов направлений «Системный анализ», «Компьютерные науки».

УДК 004.8:622.8
ББК 32.813:33 н

ISBN 978-966-350-535-0

© О.М. Алексеев, 2015
© Державний ВНЗ «НГУ», 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЗАДАЧИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА ШАХТАХ	8
1.1. Особенности управления шахтами в случаях возникновения аварий	8
1.1.1 Управление шахтой в начальной стадии развития аварии	9
1.1.2 Специфика принятия управленческих решений	15
1.2. Основные направления автоматизации интеллектуальной поддержки управления оперативными действиями при ликвидации аварий на шахтах	17
1.3. Средства концептуального моделирования предметной области	20
1.4. Методы поиска решений в интеллектуальных системах на основе знаний о прецедентах	22
1.5. Выводы. Цель и задачи исследований	23
ГЛАВА 2. ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ШАХТЫ В АВАРИЙНОЙ ОБСТАНОВКЕ	24
2.1. Основные требования к представлению знаний в системе интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах	24
2.2. Структура базы знаний для автоматизированной подсистемы поддержки принятия решений при управлении шахтой в аварийных условиях	28
2.3. Логико-математическое моделирование аварийных процессов на сетевых моделях вентиляционных систем шахт	35
2.3.1. Моделирование процессов распределения воздуха на сетевых моделях вентиляционных систем шахт при ликвидации аварий	35
2.3.2. Моделирование путей эвакуации людей из шахты и маршрутов движения горноспасателей	41
2.4. Практическая реализация методов логико-математического моделирования аварийных процессов на моделях вентиляционных систем шахт	43
2.4.1. Моделирование процесса движения горноспасателей в горных выработках шахт через аварийные зоны	43
2.4.2. Моделирование процесса эвакуации людей из шахты с учётом преодоления аварийных зон	49
2.5. Идентификация нечётких имплицативных логико-математических зависимостей базы знаний автоматизированной системы	56
2.5.1. Использование нечеткой нейронной сети модели TSK для идентификации расходов воздуха в сетевых моделях вентиляционных систем шахт	56
2.5.2. Нечеткая нейронная сеть модели TSK для идентификации имплицативных зависимостей базы знаний	57

2.6. Определение управляющих воздействий в технологических системах шахты при аварийных ситуациях	58
2.7. Выводы по второй главе	65
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА ШАХТАХ	66
3.1. Структура и принципы построения модели	66
3.2. Модель процесса управления оперативными действиями при тушении подземных пожаров	67
3.2.1. Сущности знаний модели онтологии «Тактические действия»	69
3.2.2. Сущности ситуаций модели онтологии «Оперативные действия»	70
3.2.3. Вспомогательные термины	70
3.2.4. Онтологические соглашения	71
3.3. Логико-математическая модель причинно-следственных отношений, влияющих на выбор управленческих решений при ликвидации аварий на шахтах	74
3.3.1. Основные принципы построения модели проблемной области	74
3.3.2. Базовые понятия и определения	75
3.3.3. Онтологические соглашения модели	82
3.4. Синтаксис и семантика языка для сетевого планирования оперативных действий подразделений горноспасателей при ликвидации аварий на шахтах	88
3.5. Выводы по третьей главе	96
ГЛАВА 4. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ГЕНЕРАЦИИ ОПЕРАТИВНЫХ ПЛАНОВ ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРОВ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ГОРНОСПАСАТЕЛЕЙ НА ШАХТАХ	97
4.1. Постановка задачи планирования оперативных действий при ликвидации аварий на шахтах	97
4.2. Иерархическое сетевое планирование действий при ликвидации аварий	97
4.3. Сетевые методы приобретения знаний для системы интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах	98
4.4. Реализация онтологической базы знаний для системы интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах	100
4.5. Алгоритмы выбора решений при ликвидации пожаров на шахтах	105
4.6. Продукционно-фреймовая модель представления знаний в системе интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации пожаров на шахтах	121
4.7. Принципы построения и архитектура СИППР для органов управления при ликвидации аварий на шахтах	122
4.8. Выводы по четвёртой главе	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	130
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	133

Перечень сокращений и условных обозначений

БД – База данных

БЗ – База знаний

ГВГСС – государственная военизированная горноспасательная служба

ИС – Интеллектуальная система

ИСП – Иерархическое сетевое планирование

ЛПР – Лицо, принимающее решение

ПЛА – План ликвидации аварий

ПрО - Предметная область

ПСС - Причинно-следственные связи

РАР – Руководитель аварийных работ

СИППР – Система интеллектуальной поддержки принятия решений

СУБД – Система управления базой данных

УВ – Управляющее воздействие

ВВЕДЕНИЕ

Важную роль в снижении тяжести последствий от аварий на шахтах играет правильность и обоснованность решений, принимаемых должностными лицами органов управления действиями подразделениями ГВГСС, организационными и технологическими системами на шахтах, руководителем аварийных работ, штабом ликвидации аварии. Кроме того, отсутствие во многих случаях на практике информации, необходимой для объективной оценки ситуации на месте аварии, приводит к вынужденному, технически и экономически неоправданному резервированию сил и средств, необходимых для ликвидации последствий аварии. Таким образом, усложняются вопросы информационного обеспечения для должностных лиц органов управления процессами ликвидации аварий. Кроме того, существенно повышается значение и ценность своевременной и достоверной информации о шахте в аварийной обстановке, которую с полным основанием можно рассматривать как один из видов ресурсов, обеспечивающих эффективность ликвидации аварий.

Вопросам составления и ввода в действие планов ликвидации аварий посвящены работы учёных Грекова С.П., Кокоулина И.Е., Кравченко М.В., Лебедева В.И., Мутанова Г.М., Пашковского П.С., Потёмкина В.Я., Пучкова Л.А., Соболева Г.Г. и других.

Актуальность проблемы обуславливается тем, что крупные и сложные аварии, как правило, редки и уникальны. Следовательно, в этих случаях основными факторами, способствующими успеху работы ЛПР, становится, кроме профессиональной компетенции ЛПР, умение получить необходимую информацию и сделать правильные выводы при ее недостатке или противоречивости. Поэтому в сложных ситуациях необходимо максимально использовать опыт высококвалифицированных специалистов по ликвидации аварий. Такой опыт, накопленный в разработанной СИППР, может быть успешно применен при решении задач тактической подготовки руководителей горноспасательных подразделений, разработке оперативных планов, а также при корректировке ПЛА на шахтах.

Цель и задача проведенных исследований заключается в повышение эффективности и достоверности решений, принимаемых должностными лицами органов управления при ликвидации аварий на шахтах, на основе разработки и применения комплекса моделей и алгоритмов, обеспечивающих автоматизацию процесса аккумулирования опыта специалистов и повторного его использования при предварительном планировании оперативно-тактических действий подразделений ГВГСС.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи:

1. Проанализированы особенности системы оперативного управления подразделениями ГВГСС при ликвидации аварий на шахтах.

2. Построена концептуальная модель системы оперативного управления силами и средствами ГВГСС при ликвидации аварий на шахтах, формально описывающая знания, отражающие сущность исследуемой предметной области.

3. Разработан механизм аккумулирования в базе знаний опыта управления оперативно-тактическими действиями подразделений ГВГСС при ликвидации аварий и его использования для формирования тактических планов действий горноспасательных подразделений.

4. Определена функциональная структура системы, обеспечивающая автоматизацию процесса подготовки управленческих решений, с использованием аккумулированного в системе опыта по ликвидации аварий на шахтах.

5. Разработана методика проектирования СИППР для органов управления при ликвидации аварий на шахтах.

6. Разработана методика принятия решений по управлению организационными и технологическими системами шахт в аварийной обстановке на основе преобразования информации, содержащейся в ПЛА.

Научная новизна полученных результатов:

1. Впервые построена логико-математическая модель предметной области «Система интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах», что стало возможным в результате разработки формального языка представления знаний об этой области.

2. Разработан метод формирования планов оперативно-тактических действий подразделений ГВГСС, отличающийся возможностью использования аккумулированного в базе знаний опыта по ликвидации аварий, благодаря чему на 10-15% повышается достоверность и сокращается время на принятие управляющих решений при ликвидации аварий на шахтах.

3. Впервые разработана фреймово-продукционная сетевая модель представления знаний исследуемой предметной области.

4. Разработаны методы поддержки принятия решений по управлению организационными и технологическими системами шахты в экстремальных ситуациях, отличающиеся преобразованием информации, содержащейся в планах ликвидации аварий, что обеспечило своевременную адаптацию и более точную корректировку ПЛА.

Практическое значение полученных результатов

Разработаны рекомендации по внедрению программного и информационного обеспечения автоматизированных систем:

- поддержки принятия решений должностными лицами органов управления ГВГСС при ликвидации аварий на шахтах;
- логико-математического моделирования аварийных процессов и адаптации позиций в планах ликвидации аварий;
- проведения экспертизы управленческих решений, деловых игр при подготовке и повышении квалификации должностных лиц ГВГСС.

Совокупностью перечисленных результатов является единый комплекс научно-методических предложений, математических моделей, алгоритмов и методик, программного обеспечения который позволяет разрабатывать СИППР.

ГЛАВА 1

АНАЛИЗ ЗАДАЧИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА ШАХТАХ

1.1. Особенности управления шахтами в случаях возникновения аварий

Авария – внезапное общее или частичное повреждение оборудования, горных выработок, сооружений, различных устройств, сопровождающееся длительным нарушением производственного процесса, работы участка или предприятия, сооружения в целом [1].

Виды аварий на шахтах и рудниках. Взрывы метана и угольной пыли.

В угольных шахтах Украины ежегодно происходит не менее 3-х взрывов и регистрируется около 10-ти случаев вспышек и горения метана [1,2,3]. К взрывам условно можно относить воспламенение, при которых избыточное давление воздуха превышает безопасный для человека предел 0,01 МПа. Примерно в 81% взрывах участвовал только метан, в 18% случаях – метан и угольная пыль, и в одном – только угольная пыль.

Пожары в подземных выработках представляют большую опасность главным образом потому, что продукты горения, содержащие вредные газы (оксид углерода, углекислота и др.), разносятся вентиляционной струёй по выработкам шахты и могут привести к отравлению находящихся в шахте людей. Известно много случаев, когда рудничные пожары служили причиной гибели десятков и сотен людей. Ежегодное число пожаров на шахтах достигает от 50 до 100 случаев. В общем числе аварий пожары составляют более 50% [1].

На рис.1.1 изображено распределение материальных потерь от видов аварий на шахтах.

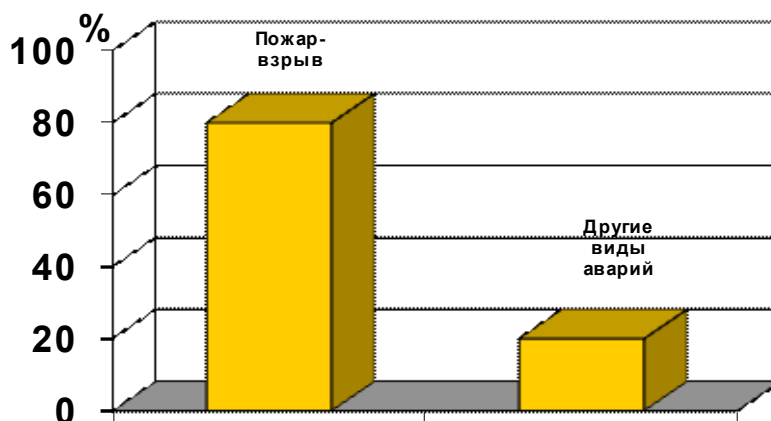


Рис. 1.1. Диаграмма затрат при авариях на шахтах

Пожары и взрывы газа и пыли на угольных шахтах являются одной из частых (60%) и наиболее тяжёлых аварий (до 80 % общих затрат на ликвидацию аварий) со средней продолжительностью их ликвидации 600 часов и существенным травматизмом.

Сложность тушения пожаров, заключается в том, что каждому из них присущи индивидуальные особенности, зависящие от местных условий возникновения и протекания [1]. Однако обобщение пожаров по основным признакам имеет практическое значение. Такое обобщение способствует более быстрой ориентации при выборе надлежащих способов борьбы в критический момент обнаружения загорания в руднике. На рис.1.3 и рис.1.4 изображены сети для классификации рудничных пожаров и способов их устранения.

1.1.1. Управление шахтой в начальной стадии развития аварии

Управление шахтой в аварийной обстановке осуществляется по заранее составленному ПЛА [5,6,7,8]. Ответственным лицом, принимающим решения при ликвидации аварии на шахте, является главный инженер. В данной аварийной ситуации все мероприятия, предусмотренные в ПЛА должны выполняться неукоснительно и оперативно. Отсюда высокие требования к точности составления ПЛА и оперативному вводу их в действие [6]. Первоочерёдной мерой при авариях на шахтах является эвакуация и спасение людей. Наиболее опасными авариями на шахтах являются пожары и взрывы [1]. Их ликвидация требует больших материальных затрат и длительных периодов времени. Поэтому в ПЛА этим авариям уделяется преимущественное внимание. На рис.1.2 изображена диаграмма распределения видов позиций ПЛА для одной из угольных шахт Западного Донбасса. Количественный состав для каждой конкретной шахты может несколько изменяться, но их соотношение остаётся стабильным.

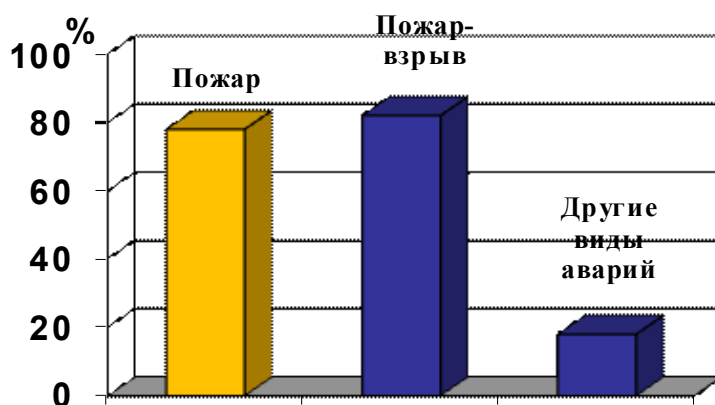


Рис 1.2. Среднестатистический состав позиций в ПЛА на угольных шахтах Украины

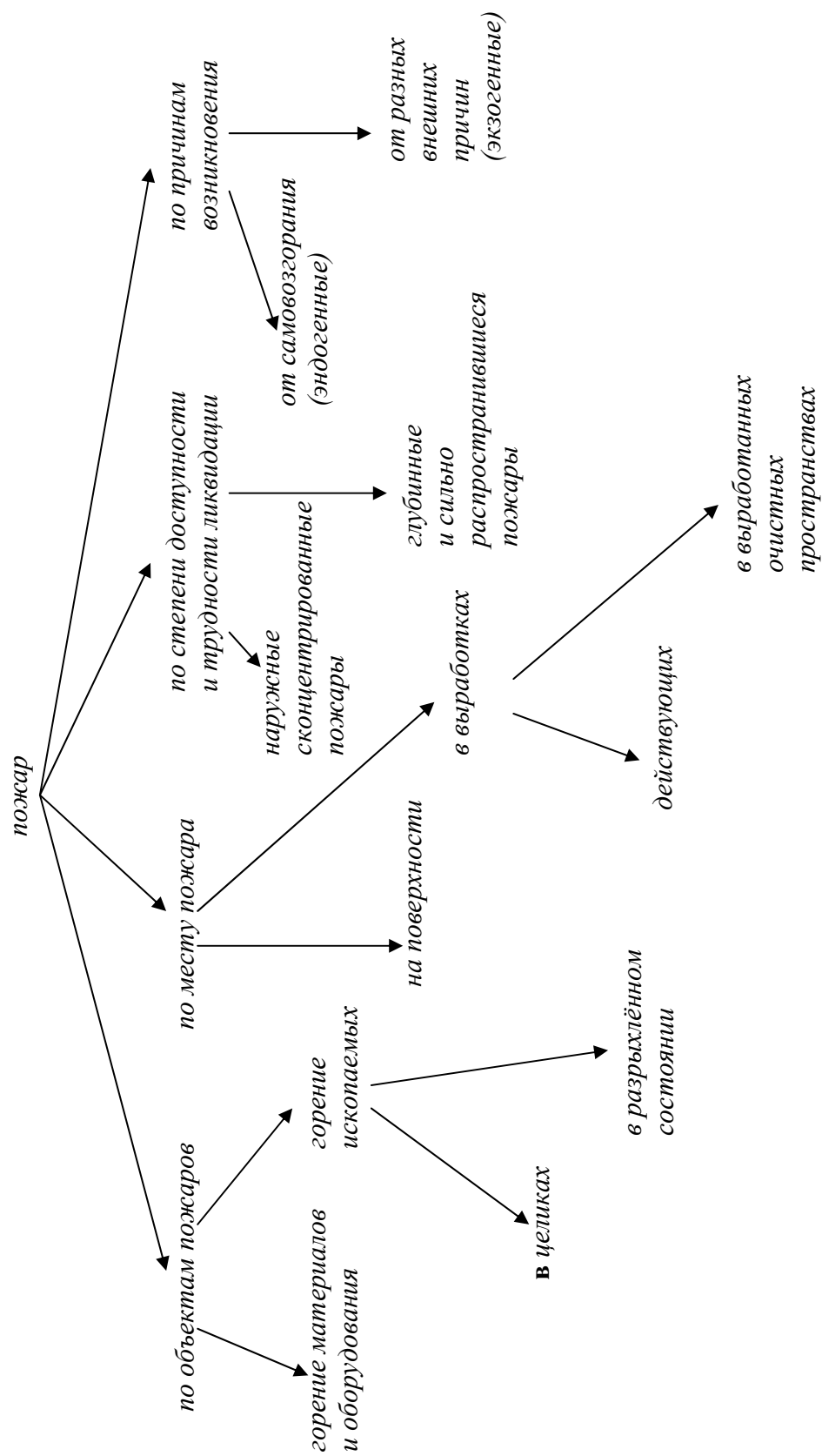


Рис. 1.3. Классификация рудничных пожаров

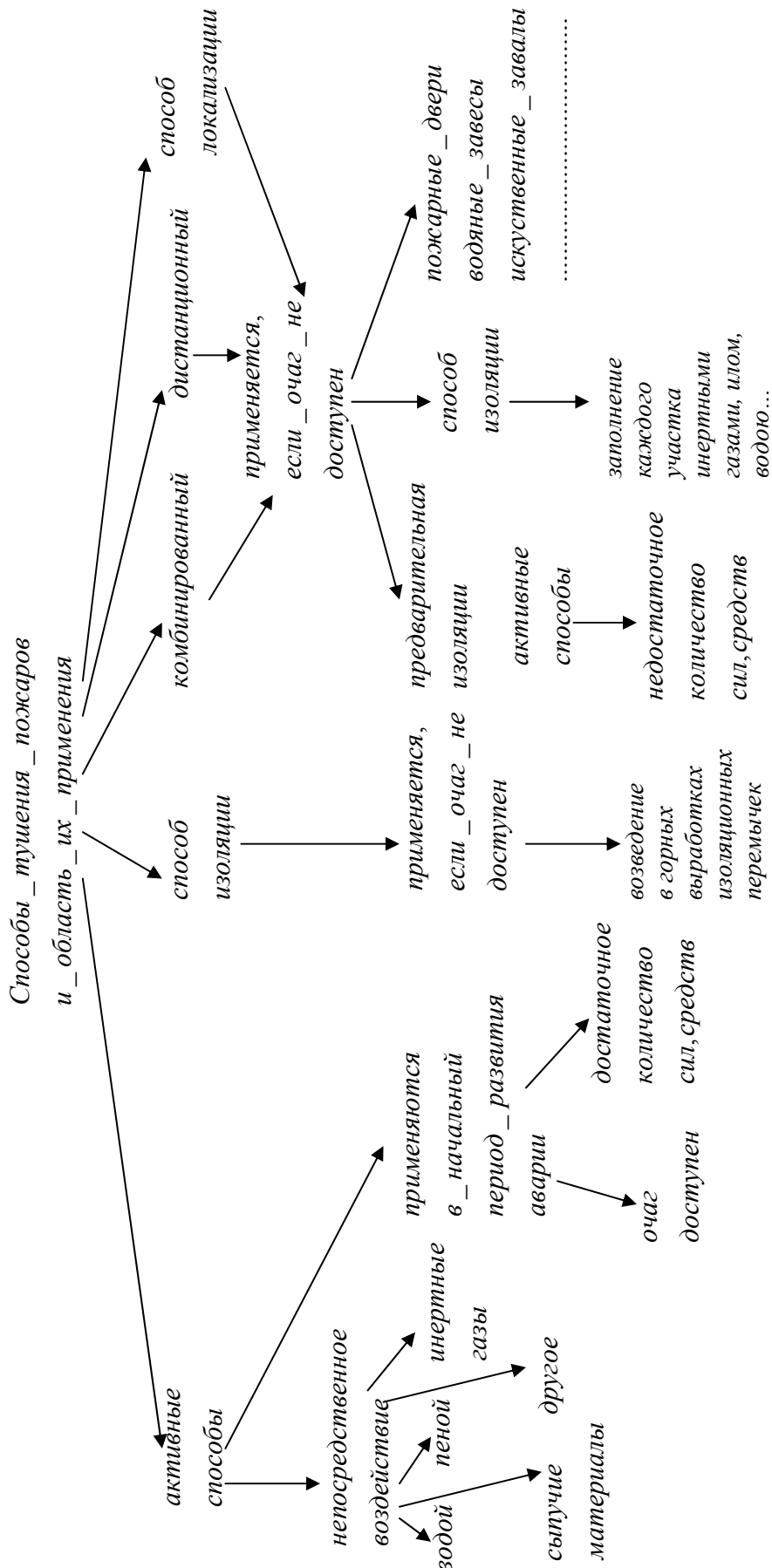


Рис. 1.4. Классификация способов тушения пожаров в шахтах

После ввода в действие ПЛА и спасения людей в настоящее время группой экспертов составляются оперативные планы ликвидации аварий [4].

В ликвидации аварий, кроме формирований ГВГСС, принимают участие специальные бригады из горнорабочих шахты, которые могут привлекаться для разборки завалов, возведения постоянных или временных перемычек и т.п. При ликвидации аварий на шахтах необходимо согласованное взаимодействие всех служб объекта управления – шахты с ГВГСС.

Современная шахта – сложнейший объект, особенно в аварийной обстановке, требующий для эффективного управления использования сложных информационных технологий. Целью управления силами и средствами при подземных пожарах и взрывах является решение проблемы локализации и ликвидации горения, при условии сохранения жизни людей и обеспечения минимальных экономических потерь. Согласно требованиям Боевого устава ГВГСС [9] управление действиями на месте пожара непосредственно или через оперативный штаб обеспечивает руководитель ликвидации аварии, которым является главный инженер шахты.

Основная цель разрабатываемой системы – это поддержка принятия решений при ликвидации подземного пожара, которая достигается последовательным процессом нахождения альтернативных решений проблемных ситуаций, под которыми понимается совокупность событий, развивающихся во времени и пространстве и имеющих определенные последствия.

Относительно системы организационного управления при решении оперативно-тактических задач силами и средствами ГВГСС формированиями горнорабочих ситуационные факторы можно подразделить на:

Внутренние факторы описывают систему организации управления. Принципиальная особенность их в том, что они подконтрольны руководителю тушения подземного пожара. Внешние неконтролируемые факторы отражают характеристики оперативной обстановки.

Внешние контролируемые факторы отражают окружение системы организационного управления силами и средствами ГВГСС при решении оперативно-тактических задач, с которым у нее существует тесное прямое или косвенное взаимодействие (администрация объекта, службы жизнеобеспечения шахты и т.д.).

Основная цель руководителя тушения пожара, как субъекта управления, состоит в обеспечении максимальной эффективности использования подразделений ГВГСС при решении поставленных перед ними оперативных задач. В общем случае, деятельность руководителя можно представить следующей функциональной диаграммой (рис. 1.5).

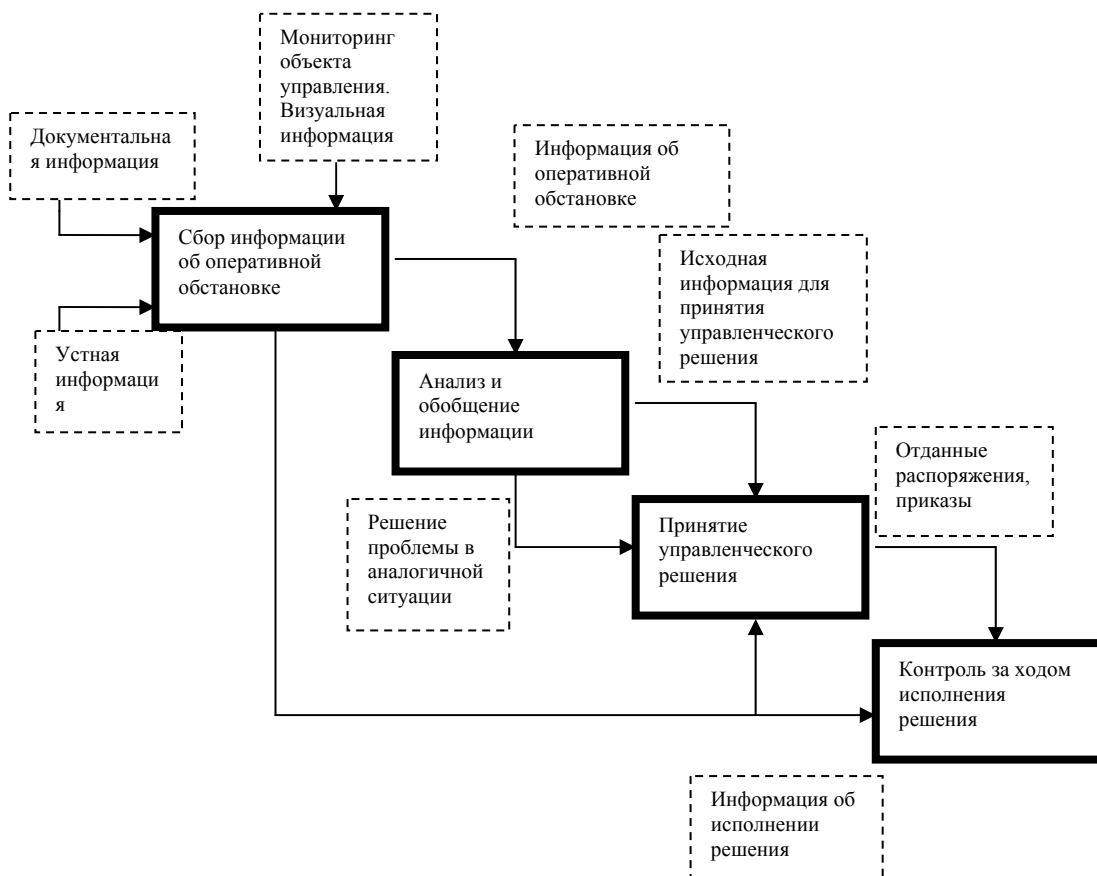


Рис. 1.5. Функциональная диаграмма «Этапы управления действиями формирований ГВГСС на пожаре»

На этапе анализа полученной информации руководителем происходит оценка сложившейся на пожаре обстановки. Качество оценки, то есть степень адекватности распознанной проблемной ситуации реальному положению дел, определяется главным образом личным опытом руководителя при тушении пожаров и уровнем его подготовки. В процессе управления силами и средствами на пожаре все решения РАР, должны отвечать на вопросы: «Что необходимо сделать?», «Как это сделать?», и «Какие требуются ресурсы?».

Результатом ответов на вопросы в табл. 1.1, является оперативный план тушения пожара и установленный порядок его выполнения. Под планом тушения пожаров (оперативных действий подразделений ГВГСС) понимается окончательное решение руководителя для выполнения задачи с учетом сложившейся обстановки в условиях конкретной аварии.

Таблица 1.1.

Ресурсно-технологические аспекты управленческой деятельности руководителя тушения пожара.

Группы решений	Что необходимо сделать?	Как это сделать?	Какие требуются ресурсы?	
			Время	Другие
Информационные решения	Оценка и анализ всей информации, поступающей к РАР, определение вероятных сценариев развития обстановки, определение достоверности информации, поступающей от различных источников в процессе тушения пожара и т.д.	Использование нормативных и методических материалов для оценки и качественных параметров оперативной обстановки	Время получения конкретной информации	Источники информации, способы получения и обработки информации
Организационные решения	Определение ответственных лиц из начального состава, для осуществления ими руководства подчиненными на выделенном подразделении на выделенном участке работы Определение целей, задач, форма и порядок постановки оперативных задач	Использование оперативного плана пожаротушения, определение порядка организации тушения пожара; Распределение сил и средств по участкам (секторам), позициям при тушении пожара	Расчетное время сосредоточения, вступления сил и средств при тушении пожара	Привлеченные силы и средства, оперативный план пожаротушения, принятые информационные решения
Технологические решения	Реализация плана оперативных действий на пожаре. Организация эффективного контроля выполнения приказов, распоряжений, возможные изменения в первично отданные команды, приказы и распоряжения и т.п.	Определение содержания и особенностей оперативных действий каждого подразделения, участвующего в тушении данного пожара. Отдача приказаний и распоряжений	Расчетное время выполнения оперативных задач специальными формированиями ГВСС	Ответственные лица за выполнение поставленных оперативных задач и требующиеся для этого средства; дополнительно привлеченные силы и средства, принятые информационные решения

1.1.2. Специфика принятия управленческих решений

Организация, методы работы и решения по управлению тактическими действиями на пожаре зависят от множества факторов, таких как оперативно-тактической характеристики шахты; параметров развития пожара и оперативной обстановки; тактических возможностей и задач, решаемых подразделениями ГВГСС, а также масштаба их действий; профессиональной подготовленности личного состава; временных параметров и других факторов.

Процессы возникновения и развития пожаров, как правило, непредсказуемы. Поэтому часто упускается необходимый момент для своевременного проведения предупредительных и/или защитных мероприятий. В условиях подземного пожара приоритет отдается задаче спасения людей, эвакуации людей из зоны воздействия опасных факторов пожара.

Эффективное управление оперативными действиями на пожаре в шахте позволяет сократить время его локализации, обеспечить ликвидацию и, таким образом, уменьшить размеры ущерба от него.

Обстановка, в которой РАР приходится принимать решения при управлении действиями на пожаре в шахте, характеризуется следующими факторами: неполнота, недостоверность, неточность информации. Так, в начальный период развития подземного пожара отсутствует точная информация об интенсивности процесса горения, его источниках и факторах, о масштабе охвата зоной горения подземных выработок, возможном нанесенном ущербе и т. д.

РАР должен постоянно сопоставлять личный выбор с нормативными и рекомендательными документами, регламентирующими вопросы организации пожаротушения [9], справочными документами [10,11].

В работах [12, 13] отмечается, что в условиях возможной неполноты информации, дефицита времени и необходимых ресурсов решающее значение, наряду с квалификацией РАР, приобретает его практический опыт участия в ликвидации такого рода аварий.

В работе [12], посвященной инженерному подходу к тактике тушения пожаров, отмечается:

- специалисты, принимающие решения при тушении пожаров, часто оценивают и принимают не лучший вариант, вместо того, чтобы анализировать множество вариантов тушения одновременно;
- специалисты отличаются от новичков главным образом по их способностям оценки ситуации, а не их умению аргументировать свое решение;
- когда задача плохо определена, ЛПП выбирает вариант, который достаточно приемлем, но не всегда лучший;
- выбор решения скорее схематичен, чем подчиняется вычислительному алгоритму;
- процесс обдумывания действий и сами действия наложены друг на друга;

Принятие решений динамично и циклично и не состоит из дискретных, изолированных событий и процессов.

Немаловажное влияние на принимаемые РАР решения оказывает неформализованная информация, существующая в виде рекомендаций, положений или опыта самого РАР. На практике РАР не всегда способен на основе тех сведений, которые ему доступны, проанализировать все варианты развития событий и принять адекватное решение.

Факторы, влияющие на неопределенности при разработке управленческих решений РАР

Руководителю приходится формировать управленческие решения в условиях недостаточной или недостоверной информации. Результаты реализации управленческих решений не всегда совпадают с представленными в оперативных ПЛА. В таких случаях ссылаются на непредвиденные неопределенности или риски.

При построении математических моделей процесса принятия управленческих решений возникает необходимость оценки неопределенности, которая определяется как невозможность точной оценки окружающей среды и объекта, функционирующего в этой среде, для выбора оптимальных решений [14].

Полностью управляемые параметры дают возможность РАР уверенно принимать обоснованные решения. Эти параметры характеризуются наличием четко сформулированной цели и набора составляющих ее задач, математического или логического аппарата формирования явно выраженного решения (в виде плана мероприятий либо в численном виде).

К *неуправляемым параметрам* относятся параметры, неподконтрольные РАР. Эти параметры сами вносят коррективы, как в решение, так и в результаты его выполнения, что увеличивает уровень неопределенности и вынуждает руководителя рисковать в выборе и реализации решения.

Частично управляемые параметры – это те параметры, которые при изменении своего значения переходят из состояния управляемых в неуправляемые и наоборот. Значения этих параметров можно прогнозировать с определенной вероятностью.

Задачей РАР на этапе анализа и обработки информации является снижение уровня неопределенности путем сведения вероятностных параметров от уровня неуправляемых до частично управляемых.

Анализ практики тушения подземных пожаров показал, что все ошибки, допускаемые при управлении действиями на пожаре, можно классифицировать по аспектам управленческой деятельности, соответствующим типам решаемых РАР задач: информационному аспекту, организационному аспекту и технологическому аспекту.

1. Ошибки, характерные для составляющих информационного аспекта процесса управления:

1.1. Сбор информации об оперативной обстановке на пожаре (разведка): ошибка в организации проведения разведки; разведка не была проведена или была проведена некачественно; ошибка в результатах разведки: (в результате проведенной разведки получены неточные или недостоверные данные).

1.2. *Анализ полученной информации*: ошибка интерпретации полученной информации; ошибка в распознавании сложившейся ситуации.

1.3. *Обработка информации об оперативной обстановке на пожаре (результаты разведки)*: ошибка в расчете требуемого количества сил и средств на пожаре; ошибка в оценке тактических возможностей подразделений ГВГСС; ошибка в прогнозе развития оперативной обстановки на пожаре в шахте.

1.4. *Выбор неправильных вентиляционных режимов проветривания шахт по ПЛА в начальный период развития аварии*: заблаговременно составленный план может не соответствовать реально сложившейся обстановке на объекте управления.

2. Ошибки, характерные для составляющих организационного аспекта процесса управления:

2.1. *Выбор схемы организации выполнения тактических задач (спасения людей и эвакуации имущества, разведки, оперативного развертывания, подачи средств пожаротушения на объект)*: ошибка в выборе варианта схемы организации (например, неэффективная схема распределения личного состава по участкам); ошибка в самой схеме организации тушения пожара (назначение неопытного должностного лица начальником тыла этого процесса).

2.2. *Выбор схемы организации процесса управления тушением пожара*: ошибка в выборе варианта организационной структуры системы управления на пожаре (например, отсутствие оперативного штаба по ликвидации аварии); ошибка в выборе схемы взаимодействия элементов организационной структуры (например, некачественная организация связи на пожаре).

3. Среда ошибок, характерных для составляющих технологического аспекта процесса управления:

3.1. *Выбор или составление тактического сценария проведения оперативных действий.*

3.2. *Выбор методов реализации управленческих решений.*

3.3. *Постановка конкретных оперативных задач исполнителям.*

3.4. *Контроль выполнения поставленных оперативных задач.*

1.2. Основные направления автоматизации интеллектуальной поддержки управления оперативными действиями при ликвидации аварий на шахтах

Проведенный выше анализ процесса разработки и принятия управленческих решений при тушении пожаров на шахтах показал, что при управлении тактическими действиями РАР необходима многоуровневая информационная поддержка. Одним из подходов к повышению качества и эффективности управленческих решений, принимаемых РАР, является использование СИППР. Состав информации, требуемой РАР на различных этапах управления, а также возможность и форма ее представления интеллектуальной системой приведены в таблице 1.2. Рассмотрим состав и функции систем интеллектуальной поддержки принятия решений, методы представления знаний в интеллектуальных системах.

Таблица 1.2.

Информационная и интеллектуальная поддержка на различных этапах процесса управления

<p>Этапы процесса управления на аварии</p>	<p>Содержание информации, предоставляемой автоматизированной системой</p>	<p>Требуемая РАР информационная и интеллектуальная поддержка и возможные способы ее реализации</p>
<p>Сбор информации об оперативной обстановке</p>	<p>Характеристика объекта тушения, информация о ближайших средствах пожаротушения, источниках опасности на объекте и т.д. Справочная информация о характеристиках АХОВ, способах подачи огнетушащих средств в конкретной ситуации, свойствах горения различных веществ и материалов, тактико-технических характеристиках возможных и доступных средствах, способах пожаротушения и т.п.</p>	<p>Реализация оперативной информационной поддержки путем разработки электронных справочников и базы данных по объектам с повышенным номером вызова в гарнизоне</p>
<p>Анализ и обработка информации</p>	<p>Определение требуемых сил и средств, количественных параметров оперативной обстановки (площади пожара, скорости распространения, температуры, интенсивности тепловыделения, времени эвакуации людей), возможных вариантов развития ситуации (определение прогнозных значений параметров оперативной обстановки на пожаре на некоторую перспективу в зависимости от изменения различных воздействующих факторов).</p>	<p>Оперативная обработка информации с помощью применения автоматизированных алгоритмов расчета и моделей. Использование аналогии при определении возможных вариантов развития ситуации (поиск схожих с текущей ситуацией (событием, процессом) прецедентов в базе данных системы интеллектуальной поддержки принятия решений)</p>
<p>Разработка вариантов управленческих решений</p>	<p>Варианты управленческих решений (подготовка проектов оперативных планов действий при тушении пожара или решения другой оперативной задачи); Вероятные последствия альтернатив решений</p>	<p>Использование алгоритмов планирования; поиск управленческих решений в схожих ситуациях в базе данных системы интеллектуальной поддержки принятия решений Использование базы фактов и правил вывода для генерации решений и оценки последствий альтернатив решений</p>

Прежде всего, определим, что будет пониматься в рамках данного исследования под термином «СИППР».

Термин «система поддержки принятия решения» (DSS - Decision Support System) появился в начале 70-х годов [15]. Однако до сегодняшних дней не существует его общепризнанного определения.

В работе [16] СИППР определяется как средство для «вычисления решений», основанное на использовании моделей, ряда процедур по обработке данных и суждений, помогающих ЛПР в принятии решений.

В [17] СИППР определяются как человеко-машинные комплексы, которые позволяют ЛПР использовать информацию, знания, объективные и субъективные модели при решении плохо формализуемых и слабоструктурированных задач в различных проблемных областях.

Отличительной чертой СИППР [18,19,20] от всех остальных автоматизированных информационных систем [20,21] является наличие в составе СИППР следующих компонент: базы знаний; блока логического вывода; естественно-языкового интерфейса. Системы интеллектуальной поддержки принятия решений обеспечивают ЛПР три вида поддержки: информационную, модельную, экспертную. Причем, в СИППР «экспертная, эвристическая» компонента является главной, а строгие методы имеют, в основном, вспомогательное назначение.

За последние годы в Украине и за рубежом было создано довольно много интеллектуальных систем поддержки управленческих решений в экстремальных ситуациях [17, 18]. Однако ни одна из них не является универсальной и не используется для решения задач за пределами организации-разработчика. Наиболее близка к задачам работы система CHARADE [21-24], обеспечивающая поддержку принятия решений при оперативном управлении ликвидацией лесных пожаров. Альтернативой оперативному планированию авторы проекта предпочли подход, названный Reinforcement Learning (ускоренное обучение) [25]. Анализ указанных выше публикаций позволяет определить концептуальную схему СИППР, в состав которой входят четыре главных компоненты: база знаний, база данных, база моделей и программная подсистема, которая состоит из СУБД и системы управления интерфейсом между пользователем и компьютером (рис. 1.6.).

Функционирование любой интеллектуальной системы опирается на знания о проблемной области, которые хранятся в ее памяти.

В данном случае предметная область должна включать в свой состав знания обо всех технологических системах шахты, возможных и имевших место прецедентах на шахтах.

Всего создано несколько десятков методов формализованного представления знаний [26]. Большинство из них может быть сведено к следующим трем основным моделям, получивших наибольшее распространение: продукции, семантические сети, фреймы.

Анализ публикаций [20, 26, 28], в которых рассматриваются теоретические и практические основы проектирования интеллектуальных систем, позволяет

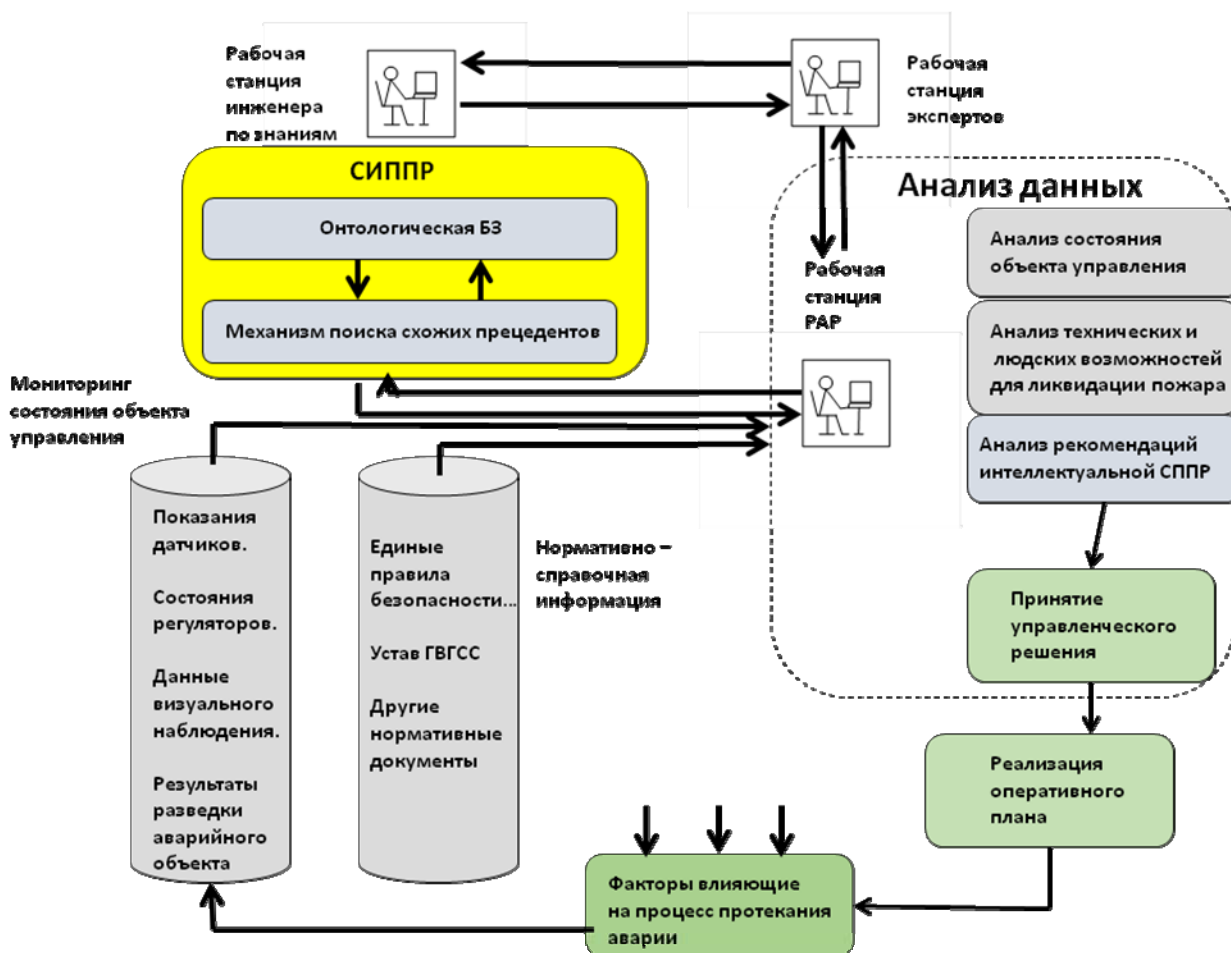


Рис. 1. 6. Концептуальная схема управления процессом ликвидации аварии на шахте с использованием СИПР

сделать следующие выводы.

1. Выбираемый при проектировании ИС формализм представления знаний должен обладать не только расширенной декларативной семантикой, но и обеспечивать: высокую скорость работы со знаниями; простоту пополнения базы знаний; эффективный механизм обнаружения ошибок; адекватность представления предметной области.

2. На современном этапе работ в области ИС часто используется смешанная форма представления знаний, которая базируется на синтезе фреймовой и продукционной модели представления знаний. Продукционно-фреймовая модель, сочетая преимущества как процедурного (продукции), так и декларативного (фреймы) подхода к представлению знаний, наиболее полно отвечает сформулированным выше требованиям.

1.3. Средства концептуального моделирования предметной области

Концептуальное моделирование ПрО – один из основных этапов проектирования любой автоматизированной информационной системы, необходимый для выявления, классификации и формализации сведений обо всех аспектах ПрО, определяющих свойства разрабатываемой системы.

Концептуальная модель ПрО строится без ориентации на используемые в дальнейшем программные и технические средства и указывает, какая информация будет содержаться, и обрабатываться в проектируемой системе, не описывая реализацию.

Структурный подход к моделированию ПрО

При построении концептуальной модели данных ПрО часто используется структурный анализ [21,28,29,30], который базируется на двух базовых принципах: декомпозиции, иерархического упорядочения.

Для метода структурного анализа характерно разбиение на уровни абстракции с ограничением числа элементов на каждом из уровней (обычно от 3 до 9); ограниченный контекст, включающий лишь существенные на каждом уровне детали; двойственность данных и операций над ними; использование строгих формальных правил записи; последовательное приближение к конечному результату.

Онтологический подход

Все перечисленные выше подходы к моделированию ПрО имеют ограничение – невозможность с их помощью выразить аксиоматические знания, т.е. задать аксиомы и правила вывода, построенные на аксиомах.

С середины 90-х годов при создании СИППР на этапе концептуального моделирования ПрО начинает доминировать подход, связанный с использованием онтологии ПрО.

Онтологии ПрО являются новыми методами представления и обработки знаний и запросов. Они позволяют точно и эффективно описывать семантику данных для некоторой предметной области и решать проблему несовместимости и противоречивости понятий. В искусственном интеллекте онтологии упоминаются в контексте с такими понятиями как концептуализация, знание, представление знаний, системы, основанные на знаниях [26, 32–35].

Одно из первых определений онтологии в информационных технологиях было дано в [36]. Согласно R. Naches онтология определяет базовые понятия ПрО и отношения между ними, а также правила для составления новых понятий и отношений для расширения словаря.

Известны другие подходы к определению понятия онтологии [37,38] поскольку в зависимости от каждой конкретной задачи удобно интерпретировать этот термин по-разному: от неформальных определений до описаний онтологии в понятиях и конструкциях логики и математики. Самым распространенным на данный момент является определение онтологии, данное в [101]: «онтология – это точная спецификация концептуализации». В 1997 г. W.N. Burst [108] несколько модифицировал это определение: «онтология – это формальная спецификация разделяемой концептуализации».

Оба эти определения были объяснены R. Studier [39] следующим образом: «концептуализация понимается как абстрактная модель некоторого явления или области реального мира, определяющая основные понятия этого явления или

области. Термин «разделяемая» означает, что онтология представляет собой знание, принимаемое некоторой группой, а не индивидом».

Для моделирования исследуемой ПрО выбран предложенный Клещевым А.С. и Артемьевой И.Л. математический аппарат – небогатые системы логических соотношений, устраняющий некоторые из перечисленных выше недостатков [40- 43].

Для того чтобы определения онтологии были выражены, по возможности, точным языком, они конструируются на основе ограниченного набора базовых терминов, называемого метаонтологией, таких как СУЩНОСТЬ, ОТНОШЕНИЕ, АТРИБУТ, РОЛЬ и др. [44].

1.4. Методы поиска решений в интеллектуальных системах на основе знаний о прецедентах

При решении возникающих проблемных ситуаций в плохо формализуемых предметных областях, актуальным является подход, основанный на повторном использовании знаний об аналогичных случаях (CBR- Case-Based Reasoning) [45 – 51].

CBR-системы обеспечивают информационную поддержку ЛПР через поиск аналогичных ситуаций в своей базе знаний, имевших место в прошлом. Они повторно предлагают уже использовавшееся решение, либо адаптируют их для решения текущей проблемы.

По сравнению с системами, использующими правила вывода в качестве инструмента генерации альтернатив, подход CBR обладает следующими основными преимуществами:

- знания, накапливаемые в системах CBR, способны более адекватно отражать проблемную область, чем предопределенный набор правил вывода, поскольку они основаны на оценках решений проблемных ситуаций, подтвержденных практикой;

- менее трудоемкий и более естественный процесс передачи знаний от экспертов к системе, нет необходимости в посредничестве инженера по знаниям, легкость корректировки знаний;

Алгоритм функционирования CBR-системы в общем случае можно представить следующим образом.

Решатель, который является одним из основных компонентов CBR-систем, при решении текущей задачи, сначала инициирует поиск ситуаций, схожих с текущей ситуацией. В случае удовлетворительного результата, решение может быть добавлено в базу знаний. Вместе с решением также сохраняется информация о результате решения.

Каждая проблемная ситуация, хранящаяся в базе знаний, может рассматриваться как комбинация проблемы и ее решения.

1.5. Выводы. Цель и задачи исследований

Проведен анализ содержания и специфики существующего процесса принятия управленческих решений РАР, рассмотрены факторы, влияющие на неопределенности при разработке управленческих решений должностными лицами органов управления силами и средствами при пожаре на шахте, дана классификация ошибок в управленческой деятельности РАР.

В условиях возможной неполноты информации, дефицита времени и необходимых ресурсов решающее значение, наряду с квалификацией РАР, приобретает его практический опыт участия в ликвидации такого рода аварий, умение выбрать наиболее эффективный в сложившейся ситуации путь решения задачи. Автоматизация накопления и использования опыта лучших специалистов в области управления оперативными действиями при тушении пожаров является одним из основных направлений для повышения эффективности работы РАР при нестандартных, экстремальных ситуациях.

Показано, что без разработки специальных методов управления организационными и технологическими системами шахт в аварийных условиях невозможна эффективная, своевременная ликвидация аварий.

Целью работы является повышение эффективности и достоверности решений, принимаемых должностными лицами органов управления при ликвидации аварий на шахтах, на основе разработки и применения комплекса методов и алгоритмов, обеспечивающих автоматизацию процесса аккумулирования опыта специалистов и повторного его использования при предварительном планировании оперативно-тактических действий ГВГСС.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- проанализировать особенности существующей системы оперативного управления подразделениями ГВГСС при ликвидации аварий на шахтах;
- построить концептуальную модель системы оперативного управления силами и средствами ГВГСС при ликвидации аварий на шахтах, формально описывающую знания, отражающие сущность исследуемой Про;
- разработать механизм аккумулирования в базе знаний опыта управления оперативно-тактическими действиями подразделений ГВГСС при ликвидации аварий и его использования для формирования тактических планов действий горноспасательных подразделений;
- определить функциональную структуру системы, обеспечивающую автоматизацию процесса подготовки управленческих решений, с использованием аккумулированного в системе опыта по ликвидации аварий;
- разработать методику проектирования СИППР для органов управления при ликвидации аварий на шахтах;
- разработать методику принятия решений по управлению организационными и технологическими системами шахт в аварийной обстановке на основе преобразования информации, содержащейся в ПЛА;
- построить модель базы знаний управления организационными и технологическими системами при ликвидации аварий на шахтах.

ГЛАВА 2

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ШАХТЫ В АВАРИЙНОЙ ОБСТАНОВКЕ

2.1. Основные требования к представлению знаний в системе интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах

Подразделения ГВГСС решают оперативные задачи зачастую в условиях ограниченного пространства, где жизненно важную роль играет не только подсистема проветривания, но и другие технологические подсистемы. Управление СИППР при ликвидации аварий на шахтах, содержащей большое количество технологических подсистем и компонентов, находящихся в определённых отношениях, невозможно без создания структурных моделей, которые отражают эти отношения. Для разрабатываемой СИППР можно привести примеры сотен компонентов, находящихся друг с другом в отношениях на «качественном» уровне представления этих отношений в виде текстов естественного языка, ограниченных предметной областью [52 - 55]:

- позиции планов ликвидации аварий представлены на естественном языке;
- загазованное или задымлённое пространство горных выработок определяется с точностью до выработки или её части;
- маршруты эвакуации людей из шахты и пути движения горноспасателей состоят из наименований горных выработок и союзов «И», «ИЛИ», «ОТ», «ДО», «ПОСЛЕ» и т. д.;
- описания организационных и технических мероприятий также представляются на естественном языке;
- положения управляющих органов (УО) всевозможных регуляторов в различных технических системах, значения расходов воздуха;
- концентрация пожарных газов ниже или выше допустимой нормы;
- температура выше или же ниже предельно допустимого значения;
- переключатели и сигнализаторы могут находиться во включенном или отключенном состояниях (0,1);
- присутствуют люди в данной выработке на данный момент или нет (0,1);
- присутствует в данной выработке пожар или продукты горения и т. д.

В данной ситуации при выработке решений по управлению наряду с «количественной» информацией должна для определения оптимальных решений использоваться и «качественная» – смысловая информация (табл.2.1).

Таблица 2.1

Примеры операций «обобщения», «конкретизации», «пересечения» и «объединения» смысловых цепочек базы знаний СИППР при управлении технологическими системами шахты в аварийной обстановке

Обозначение операции	Структуры цепочек		Смысловые цепочки и их интерпретация (примеры)	
	Исходные	Результирующие	Исходные	Результирующие
«обобщения» OB_1	$ZZRZ$	ZRZ	$Z_{54}Z_{82}R_{5,4}Z_{32}$ – «дверь автоматическая вентиляционная посредством створок влияет на расход воздуха»	$Z_{54}Z_{82}R_{5,4}Z_{32}$ – «дверь влияет на расход воздуха»
OB_2	$ZRZZZ$	ZRZ	$Z_1R_{5,1}Z_{84}Z_2Z_{15}$ – «расход воздуха действует на дым, находящийся в горной выработке»	$Z_1R_{5,1}Z_{84}$ – «расход воздуха действует на дым»
OB_3	$ZRZR$ ZRZ	1) $ZRZRZ$ 2) ZRZ	$Z_{52}R_{5,2}Z_{55}R_{5,1}$ $Z_{32}R_{3,6}Z_{71}$ – «вентилятор главного проветривания взаимодействует с противопожарной дверью так, что противопожарная дверь действует на расход воздуха так, что расход имеет значение «малый положительный второй»»	1) $Z_{52}R_{5,2}Z_{32}R_{3,6}Z_{71}$ – «вентилятор главного проветривания воздействует на расход воздуха так, что расход имеет значение «малый положительный второй»»; 2) $Z_{55}R_{5,1}Z_{71}$ – «противопожарная дверь воздействует на расход воздуха»
OB_4	$[ZRZ]R$ $[ZR[Z$ $RZ]]$	1) ZR $[ZRZ]$ 2) ZRZ	$[Z_9R_{5,1}Z_{32}]R_{5,1}[Z_{30}R_{5,1}$ $[Z_{85}R_{5,1}Z_{86}]$ – «пожар влияет на расход воздуха, влияет на показания датчика, который влияет на систему, действующую на проветривание шахты»	1) $Z_9R_{5,1}[Z_{85}R_{5,1}$ $[Z_{85}R_{5,1}Z_{86}]$ – «пожар влияет на систему, влияет на проветривание» 2) $Z_9R_{5,1}Z_{86}$ – «пожар влияет на проветривание»

OB_5	$(ZRZRZ)$ $R_7(ZRZRZ)R_6$ (ZRZ)	$(ZRZRZ)$ (ZRZ)	$(Z_{32}R_{3,6}Z_{75}R_{2,2}Z_{52}R_{3,7}Z_{58})R_7(Z_{52}R_{3,6}Z_{75})R_{2,2}Z_{52}R_{3,7}Z_{58}$ – «расход воздуха отрицательный второй, если вентилятор главного проветривания реверсирован или вентилятор реверсирован и противопожарные двери закрыты»	$Z_{32}R_{3,6}Z_{75}R_{2,2}Z_{52}R_{3,7}Z_{58}$ – «расход воздуха отрицательный второй, если вентилятор главного проветривания реверсирован»
«конкретизации» K_1	ZRZ – конкретизируемая ZRZ – конкретизирующая	$ZRZRZ$	$Z_{29}R_{3,2}Z_{87}$ – «люди находятся на горизонте» $Z_{29}R_{3,2}Z_2$ – «люди находятся в горной выработке»	$Z_{29}R_{3,2}Z_2R_{1,2}Z_{87}$ – «люди находятся в горной выработке, принадлежащей горизонту»
K_2	1) ZRZ – Конкретизируемая 2) ZRZ , 3) ZRZ – конкретизирующие	$ZRZRZZ$ –	1) $Z_{84}Z_{3,2}Z_2$ – «дым в выработке» 2) $Z_{32}R_{5,1}Z_{84}$ – «расход воздуха воздействует на дым» 3) $Z_{84}R_{3,11}Z_{88}$ – «дым обладает временным понятием «обнаружения»»	$Z_{84}R_{3,2}Z_2R_{5,1}Z_{32}Z_{88}$ – «на дым в горной выработке воздействует расход воздуха в момент времени»
K_3	$\bar{Z}RZ$ – «конкретизируемая» $\bar{Z}RZ$ – «конкретизирующая»	$[\bar{Z}RZ]$ RZ	$Z_{32}R_{3,6}Z_{76}$ – «расход воздуха обладает качеством значительный отрицательный» $Z_{32}R_{3,6}Z_{84}$ – «расход воздуха действует на дым»	1) $[Z_{32}R_{3,6}Z_{76}]R_{5,1}Z_{84}$ – «расход воздуха, обладая качеством значительный отрицательный, действует на дым»
K_4	$[ZRZZ]$ RZZ – Конкретизируемая ZRZ – конкретизирующая	$[[ZRZ]]$ $RZ]RZ$	$[Z_{32}R_{5,1}Z_{84}]R_{5,1}Z_{72}$ – «расход воздуха действует на дым, действует на температуру» $[Z_{32}R_{5,1}Z_{84}]R_{5,1}Z_{72}$ –	$[[Z_{32}R_{3,6}Z_{72}]R_{5,1}Z_{12}]R_{5,1}Z_{84}$ – «расход воздуха обладает качеством – значительный, действует на

			«расход воздуха обладает качеством – значительный положительный»	температуру, действует на дым»
«пересечения»	1) $(ZRZ)_{(i)}$ R_6, R_7 $(ZRZ)_{(j)}$ 2) $(XRZ)_{(i)}$	$(ZRZ)_{(i)}$	1) $(ZRZ)_{(i)} R_6, R_7 (ZRZ)_{(j)}$ «дверь вентиляционная закрыта» и, или «вентилятор реверсирован» 2) $(ZRZ)_{(i)}$ – «дверь вентиляционная закрыта»	$(ZRZ)_{(i)}$ – «дверь вентиляционная закрыта»
P_2	1) $ZRZZ$ 2) ZRZ	ZRZ	1) $Z_{29} R_{3,2} Z_{87} Z_2$ – «люди находятся на горизонте, в горной выработке» 2) $Z_{29} R_{3,2} Z_2$ – «люди находятся в горной выработке»	2) $Z_{29} R_{3,2} Z_2$ – «люди находятся в горной выработке»
«объединения»	1) $ZPRZ$ 2) $ZFRZ$	$[ZRZ]IR$ $[ZRZ]–$	1) $Z_{52} PR_{5,1} Z_{32}$ – «вентилятор главного проветривания действует на расход воздуха» 2) $Z_{30} FR_{5,5} Z_{78}$ – «датчик будет контролировать изменение расхода воздуха»	$[Z_{52} R_{5,1} Z_{32}] IR_{3,8}$ $[Z_{30} R_{5,5} Z_{78}] –$ «вентилятор главного проветривания действует на расход воздуха раньше, чем датчик будет контролировать изменение расхода воздуха»
O_2	1) $ZPRZ$ 2) $ZFRZ$	$Z(FR, PR)Z$	1) $Z_1 PR_{5,1} Z_9$ – «воздух действует на горение» 2) $Z_1 FR_{5,1} Z_9$ – «воздух будет действовать на горение»	$Z_1 (PR_{5,1} FR_{5,1}) Z_9$ – «воздух действует, и будет действовать на горение»
.....

2.2. Структура базы знаний для автоматизированной подсистемы поддержки принятия решений при управлении шахтой в аварийных условиях

Для ограниченного языка принятия решений при управлении шахтой в аварийных условиях определены основные классы отношений между его элементами: «качества», «действия», «времени», «места», «логические функции» [55,56]. Указанные классы подразделяются на подклассы. Например, «логические функции» включают в свой состав конъюнкцию, дизъюнкцию, отрицание, импликацию. Идентификаторы отношений буквой $R_{(k,l)}$. Здесь k - номер основного класса отношений, а l - номер подкласса.

Основным элементом текстовых структур в позициях ПЛА является наименование горной выработки или его участка [7]. На шахте «Западно–Донбасская» таких объектов – 159.

Для описания сети подземных выработок было использовано отношение «Топологическая структура». Начало и конец участка горной выработки индицируются отношениями «От» - R23 и «До» - R24. Сеть горных выработок в базе знаний системы представляется в виде табл.2.2.

Таблица 2.2

Отношение «Топологическая структура»

	R23 Z1 R24 Z5	R23Z 2 R24Z 45	R23Z 3 R24Z 51	R23Z 4 R24Z 59	...	R23Z 20 R24Z 50	R23Z 49 R24Z 13	R23Z3 3 R24Z1 00	R23Z 11 R24Z 99	R23Z1 59 R24Z5 8
R23 Z1 R24 Z5	0	1	1		...	1		1	1	1
R23 Z2 R24 Z45	1	0			...					
R23 Z3 R24 Z51	1		0		...					
R23 Z4 R24 Z51				0	...					
...

R23 Z20 R24 Z50	1				...	0				
R23 Z49 R24 Z13					...		0			
R23 Z33 R24 Z100	1				...			0		
R23 Z11 R24 Z99	1				...				0	
R23 Z159 R24 Z58	1				...					0

Важным технологическим параметром, характеризующим возможность перераспределения расхода воздуха в горных выработках, является его взаимосвязанность [1]. В табл.2.3 представлен фрагмент базы знаний «Взаимосвязанность изменений расходов воздуха».

Таблица 2.3

Отношение «Взаимосвязанность изменений расходов воздуха»

	R23 Z1 R24 Z5	R23Z 2 R24Z 45	R23Z 3 R24Z 51	R23Z 4 R24Z 59	...	R23Z 20 R24Z 50	R23Z 49 R24Z 13	R23Z3 3 R24Z1 00	R23Z 11 R24Z 99	R23Z1 59 R24Z5 8
R23 Z1 R24 Z5	3	1	1		...	1		1	1	1
R23 Z2 R24 Z45	1	3			...		2		2	
R23 Z3 R24 Z51	1		3		...					

R23 Z4 R24 Z51				3	...					
...
R23 Z20 R24 Z50	1				...	3				
R23 Z49 R24 Z13		2			...		3			
R23 Z33 R24 Z100	1				...			3		
R23 Z11 R24 Z99	1	2			...				3	
R23 Z159 R24 Z58	1				...					3

Фрагмент базы знаний, характеризующей состояние шахтной атмосферы в зависимости от места и интенсивности возникновения пожара или внезапного выброса метана, приведён в Приложении А.

Информация о возможных аварийных ситуациях хранится в базе знаний системы. Описания аварийных ситуаций включают в свой состав сведения о месте и типе возможной аварии;

Формализованная запись выглядит следующим образом:

$$((Z_{(i)}R_{(i,j)}Z_{(j)})R_{(j,z)}Z(1\div 99)X_{(p)})$$

где $(Z_{(i)}R_{(i,j)}Z_{(j)})$ - элементарная смысловая цепочка, характеризующая номер позиции ПЛА; $R_{(j,z)}$ - отношение имеет место; $Z(1\div 151)$ - наименования горных выработок или их участков; $Z_{(p)}$ - понятие вида аварии.

Пример интерпретации таких смысловых цепочек:

«(ПОЗИЦИЯ №23) ОТК. ЗАЕЗД НА КОНВ. ХОДОК ОТ ЗАП. МАГ. ОТК. ШТРЕКА ДО 800 БОРТ. ШТРЕКА – «ПОЖАР»».

- возможные зоны загазованности вентиляционной системы шахты;

«ПОЗИЦИЯ № 13 СЕВ. ОТК. УКЛОН ОТ ЗАП. МАГ. ОТК. ШТРЕКА ДО 856 БОРТ. ШТРЕКА — «ПОЖАР. (гл. и всп. стволы, загазованность малая,

температура малая) и (надшахтное здание, загазованность малая, температура малая) и (выработки зап. крыла шахты г. 480 м, загазованность средняя, температура средняя) и (3 зап. маг. отк. штр, загазованность большая, температура средняя) и (выработки вост. крыла г. 480 м, загазованность малая, температура средняя) и (выработки и камеры околоств. двора г. 480 м, загазованность малая, температура малая) и (выработки бремсбергового поля шахты, загазованность средняя, температура малая) и (выработки конв. и отк. квершлагов на пл. с₁₀, загазованность большая, температура средняя);»

СОСТОЯНИЕ ПОДСИСТЕМ:

1) КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ШАХТНОЙ АТМОСФЕРЫ, УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ И ДЕГАЗАЦИЕЙ;

Предложения, описывающие состояние воздухораспределения в системе, выглядят следующим образом:

«Если вентилятор главного проветривания №1 реверсирован и регулятор в западном вентиляционном штреке, расположенный от вентиляционной сбойки №2 до южного квершлага, закрыт, то расход воздуха в 800-ой лаве имеет значение малый отрицательный».

Это предложение будет иметь формализованный вид:

((X56 R12 X59) R09 (X61R10 (R25Z11 (R23Z217((R24Z213(R12 X65))R22 (X66 R11 X73 R10 Z220))))))– здесь: Z220 – (800-я лава); Z217 – (вентиляционная сбойка №2); Z213 – (южный квершлаг); Z201 – (западный вентиляционный штрек).»

2) СОСТАВЛЕНИЯ И ВВОДА В ДЕЙСТВИЕ ПЛА;

3) ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ;

4) ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ;

«Отключить электроэнергию в шахту и надшахтное здание всп. ствола с поверхностной электрической подстанции: — на блоке № 1 — яч. №№ 15, 30, 32, 41, в КТП ГПП — автоматы 3, 5, 29. — на блоке № 3 — яч. №№ 56, 57.» (см.табл.2.4).

5) УПРАВЛЕНИЯ ВЫЕМОЧНЫМИ УЧАСТКАМИ;

6) ТРАНСПОРТА;

«Установить пожарные ляды. Клеть одноклетьевого подъёма установить на кулаки «0» площадки. Противовес опустить в крайнее нижнее положение на г. 680 м. Клетки двух- клетьевого подъёма установить на кулаки верхней и нижней приёмных площадок.»

«Подготовить поезд на г. 585 м и г. 480 м для доставки отделений ГВГСС.»

7) УПРАВЛЕНИЕ ПОЖАРОТУШЕНИЕМ. УПРАВЛЕНИЕ ВОДООТЛИВОМ;

«Обеспечить подачу воды к надшахтному зданию всп. ствола и в околоствольные двory всп. ствола гг. 480, 530, 585, 680 м. Включить пожарные поверхностные насосы 6 НДС-60.»

Фрагмент базы знаний, характеризующей состояния технологических систем шахты (система электроснабжения)

Номер аварийной ситуации	Наименование оборудования	на блоке № 1 - яч. №№ 15, 30, 32, 41, в КТП	в ЦПП г.480 м - яч.№ 1 8.	по блоку № 1-яч. №№ 1 5, 30, 32, 41, по блоку № 3 - яч. №№ 5 6, 57.	в ЦПП г.480 м - яч.№№ 8, 14, 17, 8; в РПП- 2 - яч. № 6; в РПП- 9 - яч.№ 4.	в ЦПП г.480 м яч. №№ 1 7, 18. в РПП- 2 -яч. №№ 2, 3, 5;	в ЦПП г.480 м яч. №№ 1 4, 17; в РПП- 3 - яч. №№ 2, 6.
1	Отключены	1					
19	Отключены		1				
22	Отключены			1			
23	Отключены				1		
28	Отключены			1			
30	Отключены					1	
65	Отключены						1

8) СВЯЗИ. АВАРИЙНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ И ТАБЕЛЬНОГО УЧЁТА;

«Оповестить об аварии всех людей в шахте и надшахтном здании системой ИГАС-3 и телефонами. Вывести всех людей из шахты по гл. стволу скипами.»

9) ДРУГИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДСИСТЕМЫ.

«Обеспечить нормальную работу вакуум-насосной станции и вакуум-насосной станции блока № 3.»

Наиболее характерные операции, проводимые со структурами при генерации текста оперативной части ПЛА, представлены табл. 2.

Операции конкретизации в основном используются при генерации текста во 2 и 3 колонках, а обобщения, пересечения, объединения – в 4 и 5.

Операции пересечения и объединения проводятся по правилам нечёткого вывода.

2.3. Логико-математическое моделирование аварийных процессов на сетевых моделях вентиляционных систем шахт

2.3.1. Моделирование процессов распределения воздуха на сетевых моделях вентиляционных систем шахт при ликвидации аварий

Методы и алгоритмы определения режимов работы регуляторов на основании предварительно сформированной базы данных о вентиляционной системе шахты на основании её сетевой модели. База данных представляет собой нечёткие логические уравнения, устанавливающие связь между состояниями управляющих органов регуляторов и расходами воздуха в горных выработках на уровне лингвистических переменных. Алгоритм построен на основании закономерностей нечёткой логики.

При ограниченной информации о состоянии объекта необходимые управляющие воздействия определяются на основании имитации аварийных процессов на сетевых моделях вентиляционных систем шахт в сочетании с оперативной информацией о регулируемых параметрах. В настоящее время для этой цели мало используют информацию на качественном уровне – в виде текстовых структур на русском языке. Как показали исследования [57,58], обработка и целенаправленное преобразование таких лингвистических структур, позволяет быстро и точно определять необходимые УВ. В данной работе представление информации в базах данных и знаний автоматизированных системах управления вентиляционными системами шахт (АСУВС) строится на базе смысловых (ZRZ)–цепочек [58,59]. Их преобразование по установленным правилам позволяет определять необходимые управляющие воздействия в сложных экстремальных условиях, в том числе в условиях неопределённости состояния распределения воздуха при пожарах в выработках шахт.

Сетевая модель вентиляционной системы шахты «Западно-Донбасская» приведена на рис.2.1.

На рис.2.1. указаны пассивные регуляторы №1,...,№3 и активные регуляторы ВГП – Z56 и Z70.

В работах [60, 61] обоснована шкала возможного изменения расхода воздуха в подземных выработках шахт. Интервалы шкалы определяются, с одной стороны, точностью измерения расхода воздуха современными техническими средствами, а, с другой, чувствительностью человека к изменению скорости ветра. Для подземных выработок шахт шкала возможных значений расходов воздуха представлена на рис.2.2.

Определять изменяющийся характер «уверенности» или «принадлежности» будем следующим образом [60]: $\frac{(Z61R12Z65)}{\text{var } 1[0,5 < \mu \leq 1]}$ - с интерпретацией: «регулятор закрыт с уверенностью в этом μ , которое изменяется в пределах от 0,5 до 1. $\frac{(Z61R12Z65)}{\text{var } 2[0 < \mu \leq 0,5]}$ - с интерпретацией: «регулятор закрыт с уверенностью $[0 < \mu \leq 0,5]$ », а это значит, что регулятор практически открыт.

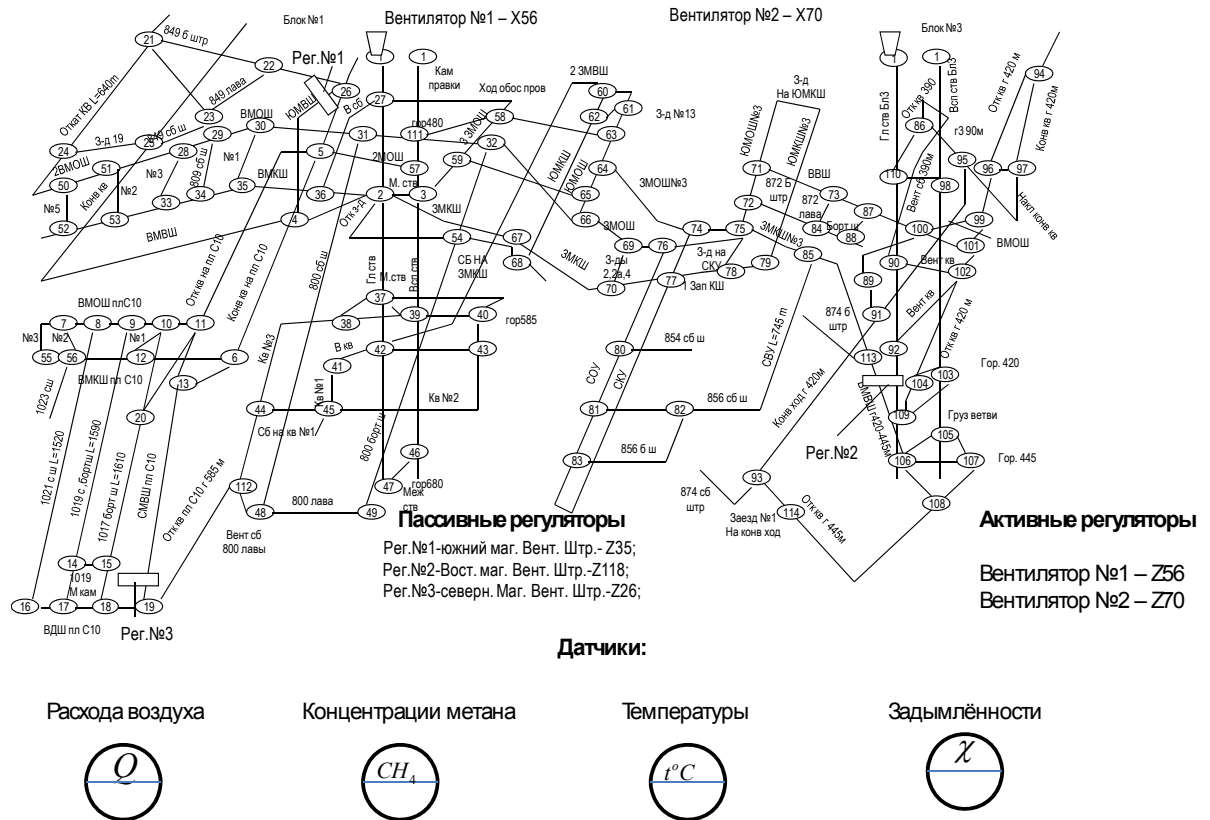


Рис. 2.1. Сетевая модель вентиляционной системы шахты с датчиками контроля шахтной атмосферы



Рис. 2.2. Шкала контролируемого параметра

Для активных регуляторов такие записи будут выглядеть следующим образом: $\frac{(Z56R12Z59)}{\text{var } 3[0 > \mu \geq -1]}$ – с интерпретацией: «вентилятор №1 реверсирован с

уверенностью $[0 > \mu \geq -1]$ »; $\frac{(Z56R12Z58)}{\text{var } 4[0 < \mu \leq 1]}$ - с интерпретацией: «вентилятор №1 остановлен с уверенностью $[0 < \mu \leq 1]$ ». Аналогично описывается нечёткость «Z60 – нормальный режим работы вентилятора». Функции принадлежности для входных и выходных переменных можно определить по следующей формуле

$$\mu(z) = 1 - \frac{B-z}{B-A}, z \leq B, \quad (2.1)$$

где A и B – соответственно нижняя и верхняя границы установленных интервалов. В данном случае A – это понятие регулятор «открыт», B – «закрит».

Аналогичным образом посредством треугольных функций принадлежности производится переход от значений расходов воздуха на качественном уровне к количественным показателям. При этом нужно учитывать, что при положительных значениях расходов, если $\mu = 1$, то количественное значение равно верхней границе интервала. Если же расход воздуха отрицательный, то количественное значение, совпадающее с верхней границей интервала, соответствует $\mu = 0$. Нечёткая запись значения расхода воздуха в базе знаний будет иметь следующий вид: $\frac{(Z66R11(Z70R08...R08Z78))}{\text{var } 5[0 < \mu \leq 1]}$ – с

интерпретацией: «расход воздуха имеет одно из значений $(Z70R08...R08Z78)$, каждое со степенью уверенности $[0 < \mu \leq 1]$ (рис.2.3).

Записи базы знаний управляемости вентиляционной системы шахты для выработки Z092 без учёта μ будут выглядеть следующим образом:

1. Z092 (Z56R12Z60) R22 (Z66R11Z76);
2. Z092 (Z56R12Z58) R22 (Z66R11Z74);
3. Z092 (Z56R12Z59) R22 (Z66R11Z59);
4. Z092 ((Z61R12Z65) R09 (Z62R12Z65)) R22 (Z66R11Z75);
5. Z092 (Z62R12Z65) R22 (Z66R11Z77).

Представленные в нечёткой форме эти логические уравнения будут выглядеть следующим образом:

1. Z092 (Z56R12Z60) R22 (Z66R11Z76);
var 4[0 < μ ≤ 1] var 5[0 < μ ≤ 1]
2. Z092 (Z56R12Z58) R22 (Z66R11Z74);
var 4[0 < μ ≤ 1] var 5[0 < μ ≤ 1]
3. Z092 (Z56R12Z59) R22 (Z66R11Z59);
var 3[0 > μ ≥ 1] var 5[0 < μ ≤ 1]
4. Z092 ((Z61R12Z65) R09 (Z62R12Z65)) R22 (Z66R11Z75);
var 1[0,5 < μ ≤ 1] var 1[0,5 < μ ≤ 1] var 5[0 < μ ≤ 1]
5. Z092 (Z62R12Z65) R22 (Z66R11Z77). (2.2)
var 1[0,5 < μ ≤ 1] var 5[0 < μ ≤ 1]

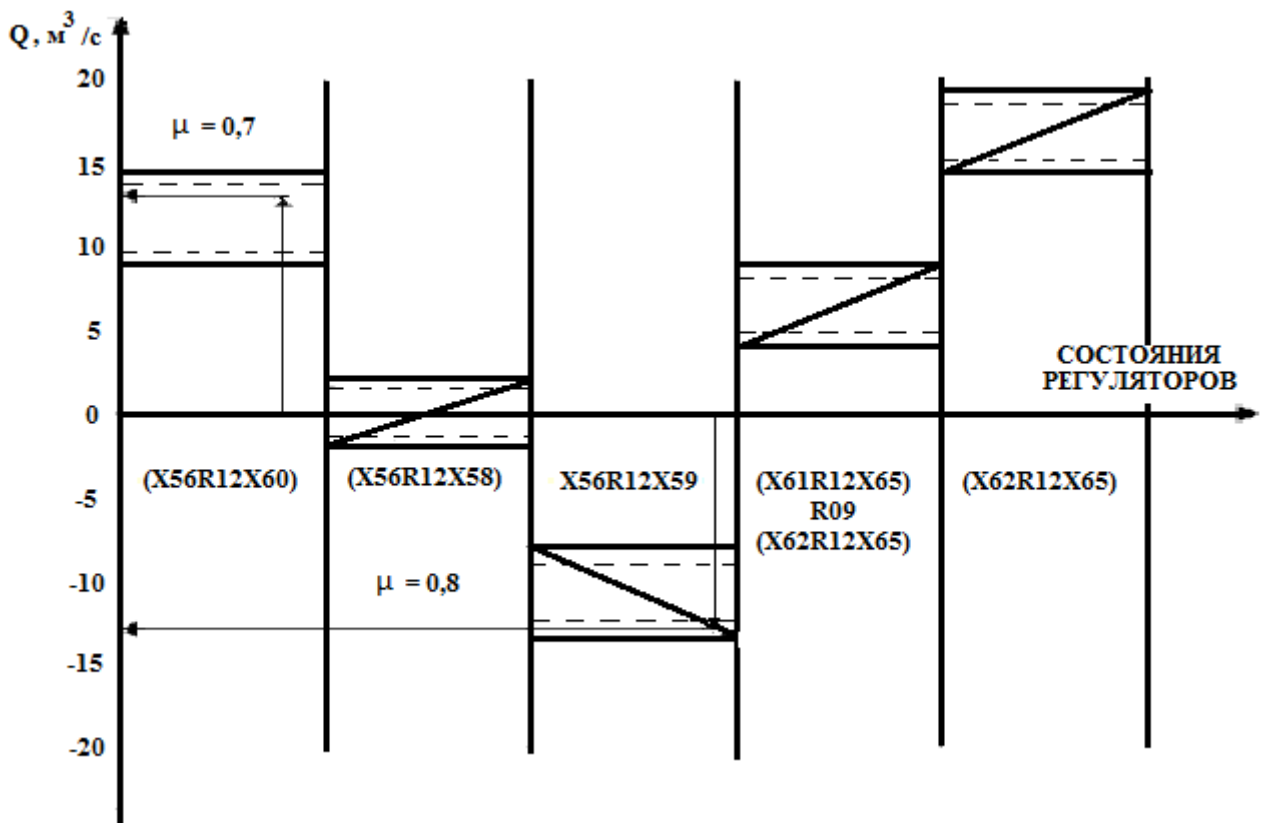


Рис. 2.3. Возможности изменения расхода воздуха в горной выработке Z092

После обучения системы – классификации возможных вентиляционных ситуаций, левая часть каждой записи j -го отношения базы будет соединена с соответствующей записью правой части отношением $R_{2,2}$ - «если - то».

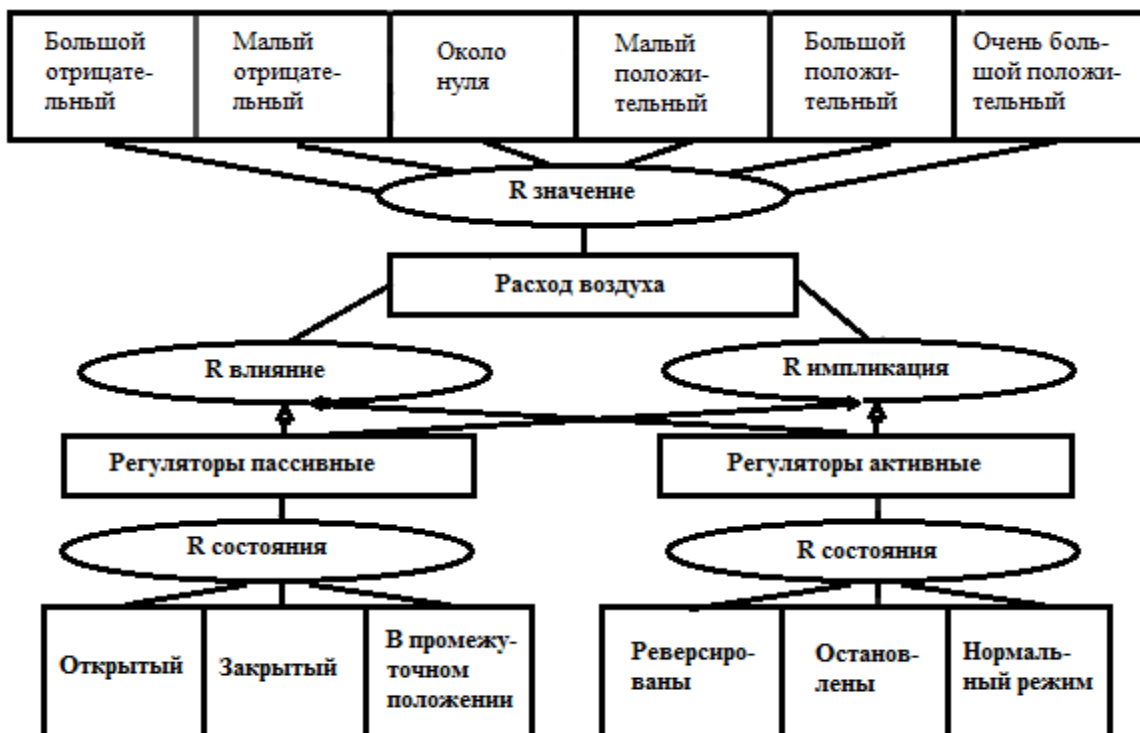


Рис. 2.4. Семантическая структура информации о возможностях по изменению вентиляционных режимов

$$\begin{aligned}
& (Z_{32(j)} R_{3,6} Z_{67}) R_{2,2} [(ZR_{3,7} Z)]_{NS_j=1}; \\
& \quad R_7 \\
& (Z_{32(j)} R_{3,6} Z_{68}) R_{2,2} \dots R_{2,2} [(ZR_{3,7} Z)^{(1)} R_6 (ZR_{3,7} Z)^{(2)}]_{NS_j=2}; \\
& \quad R_7 \\
& \quad \dots \\
& \quad \dots \\
& \quad R_7 \\
& (Z_{32(j)} R_{3,6} Z_{77}) R_{2,2} \dots R_{2,2} [(ZR_{3,7} Z)^{(1)} R_6 (ZR_{3,7} Z)^{(2)} R_6 \dots R_6 (ZR_{3,7} Z)^{(n)}]_{NS_j=L},
\end{aligned} \tag{2.2}$$

где $(ZR_{3,7} Z)^n$ - помеченная цепочка, характеризующая закрытое состояние пассивных регуляторов, реверсивное состояние или остановку активных регуляторов; $Z_{32(j)}$ - понятие расхода воздуха; $(Z_{67} \div Z_{77})$ - установленные интервалы расхода воздуха; (R_6, R_7) - соответственно, союзы “И”, “ИЛИ”; NS_j - номер записи j -го отношения.

Весь диапазон возможных изменений расхода воздуха в каждой горной выработке (в каждом отношении этого фрагмента базы знаний) будет состоять из частных случаев логического уравнения (2.2).

Алгоритм состоит из следующих этапов:

- конкретизация аварийной обстановки заключается в установлении истинной картины, сложившейся на объекте управления;
- уточнения места сосредоточения людей, возможных маршрутов их передвижения;
- установления зон загазованности и динамики их распространения.

Это производится путём обработки информации от объекта управления и проведения операций конкретизации записей в базе знаний. Формирование целей управления определяется критериями управления.

Для определения изменившихся в процессе эксплуатации функций принадлежности значений расходов воздуха к установленным интервалам, используются специальные аппроксимирующие зависимости.

Выбор вариантов решений по изменению аварийного распределения воздуха производится путём проведения операций объединения (*MAX*) с записями заданных отношений информационной базы. При этом решается задача оптимизации необходимого минимального количества изменений в состояниях регуляторов. В этом случае учитывается трудоёмкость в реализации выбранных управляющих воздействий и ограничения на них. Задачу можно решить:

- переводом в нужное состояние управляющих органов только пассивных регуляторов (функции F_1);
- переводом в нужное состояние управляющих органов только активных регуляторов (функции F_1, F_2);

- переводом в нужное состояние управляющих органов пассивных регуляторов и реверсированием вентиляторов (функция F_3). Поэтому задача оптимизации имеет иерархическую структуру с тремя уровнями.

$$1. F_1 = \sum_{(l)} (Z_{54(l)} R_{3,7} Z_{56}) \equiv MIN;$$

$$2. F_2 = F_1 R_6 \sum_m (Z_{55(m)} R_{3,7} Z_{58}) \equiv MIN;$$

$$3. F_3 = F_1 R_6 F_2 R_6 \sum_{(p)} (Z_{52(p)} R_{3,7} Z_{58}) \equiv MIN.$$

При соблюдении требований:

$$(Z_{32(j)} R_{3,6} (Z_{67} R_6 \dots R_6 Z_{72})) - \text{с интерпретацией } Q_{(j)} \geq 0;$$

$$(Z_{32(s)} R_{3,6} (Z_{73} R_6 \dots R_6 Z_{77})) - \text{с интерпретацией } Q_{(j)} \leq 0;$$

$(Z_{32(r)} R_{3,6} (Z_{67} R_7 \dots R_7 Z_{77}))$ - с интерпретацией $Q_{(r)}$ имеет значение в одном из диапазонов расхода воздуха $(Z_{67} \div Z_{77})$.

Схема логической структуры лингвистических данных представляет таблицы типов, содержащих имена объектов и их атрибуты. Она также определяет связи между ними – отношения R . Объём фрагмента базы знаний о возможностях по изменению вентиляционных режимов в шахте зависит от количества горных выработок и числа регуляторов (рис. 2.5).

Результаты работы программы по выбору режима работы вентиляторов представлены на рис. 2.6 - 2.8.

Примеры реализации вариантов управления аварийным проветриванием приведены в Приложении А.

	BranchNo	RegMode	AirChange	MembGrade
▶	207	X56R12X58	X78	0,8
	207	X56R12X59	X75	0,9
	207	X70R12X58	X77	0,75
	207	X70R12X59	X76	0,7
	207	(X56R12X58)R09(X70...	X74	0,7
	207	(X56R12X58)R09(X70...	X76	0,85
	207	(X56R12X59)R09(X70...	X76	0,75
	207	(X56R12X59)R09(X56...	X71	0,65
	136	X56R12X58	X78	0,8
	136	X56R12X59	X76	0,9
	136	X70R12X58	X77	0,75
	136	X70R12X59	X74	0,7
	136	(X56R12X58)R09(X70...	X72	0,7
	136	(X56R12X58)R09(X70...	X75	0,85
	136	(X56R12X59)R09(X70...	X75	0,75
	136	(X56R12X59)R09(X56...	X70	0,65
	342	X56R12X58	X77	0,8
	342	X56R12X59	X74	0,9
	342	X70R12X58	X78	0,75
	342	X70R12X59	X75	0,7
	342	(X56R12X58)R09(X70...	X73	0,7
	342	(X56R12X58)R09(X70...	X75	0,85
	342	(X56R12X59)R09(X70...	X75	0,75
	342	(X56R12X59)R09(X56...	X70	0,65

Рис.2.5. Фрагмент базы знаний управляемости вентиляции шахты

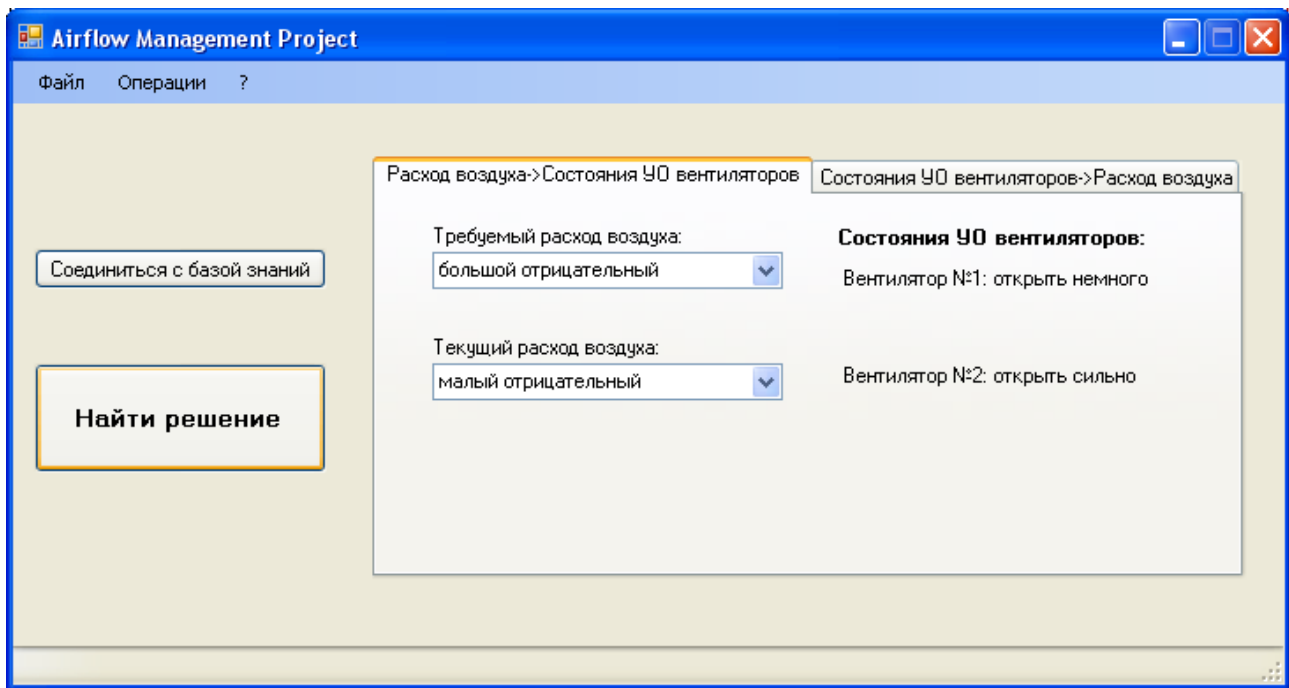


Рис. 2.6. Результат работы программы в режиме «Расход воздуха – состояния УО вентиляторов»

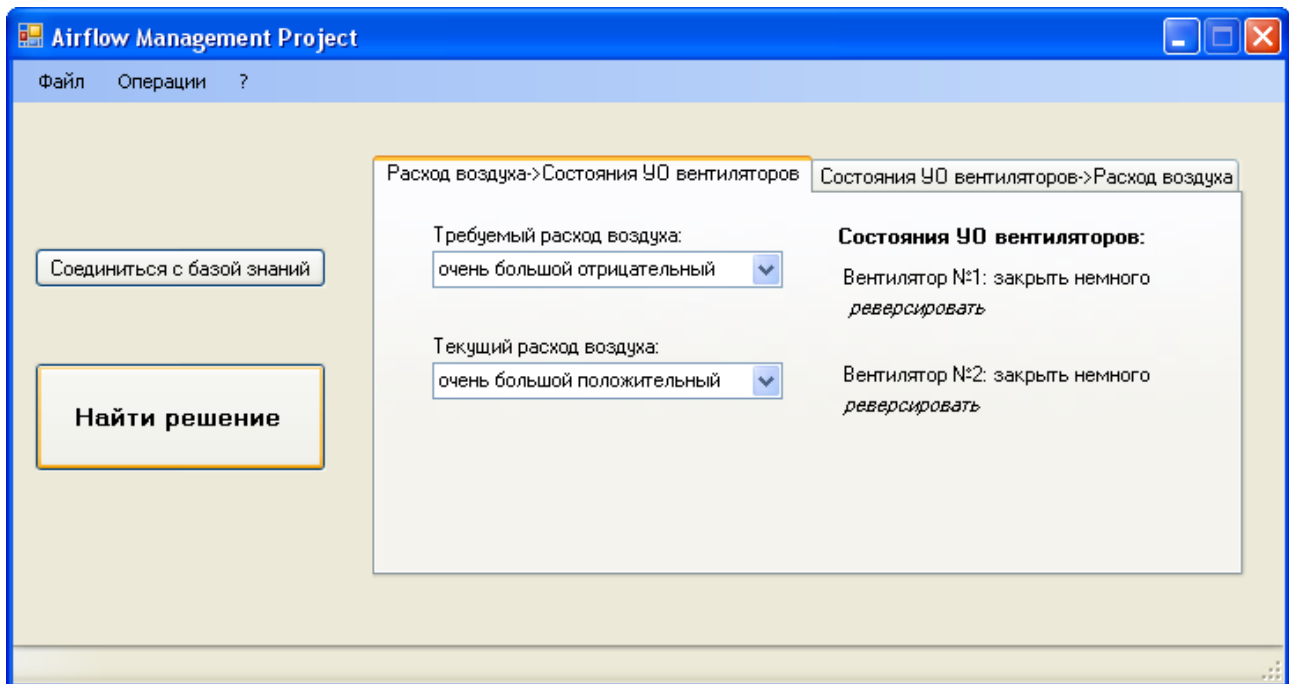


Рис. 2.7. Результат работы программы в режиме «Расход воздуха - состояния УО вентиляторов»

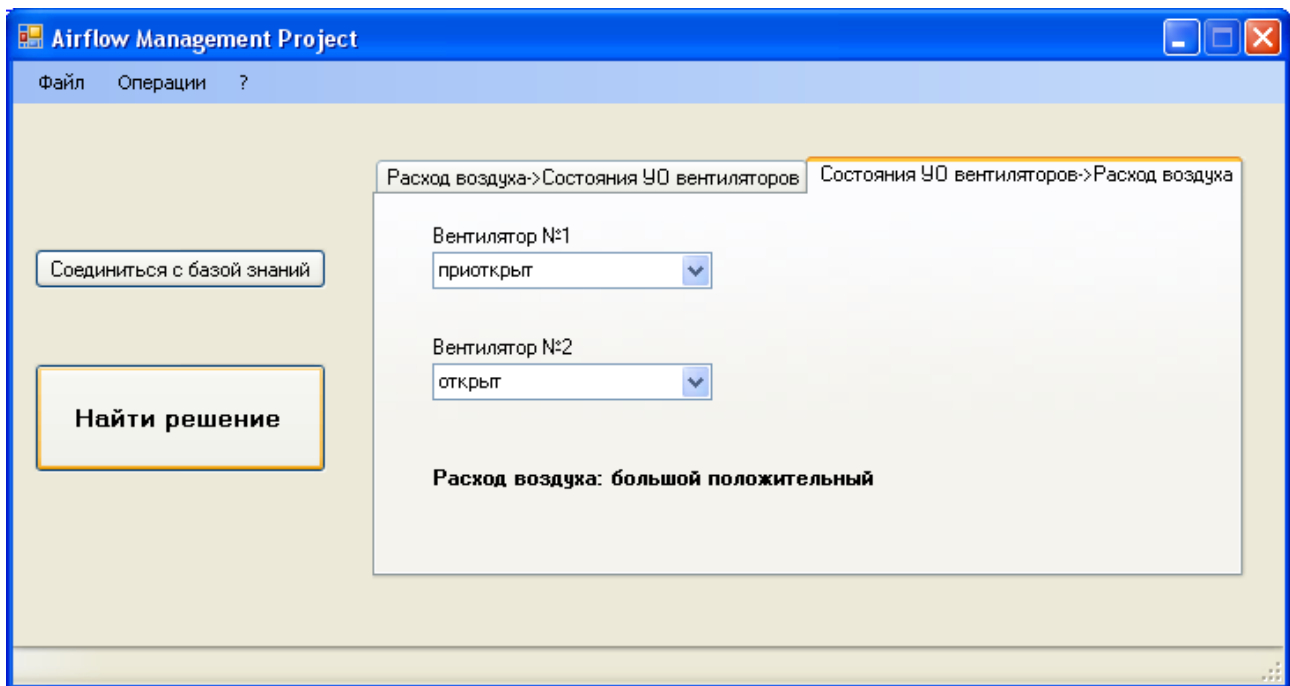


Рис. 2.8. Результат работы программы в режиме «Расход воздуха - состояния УО вентиляторов»

2.3.2 Моделирование путей эвакуации людей из шахты и маршрутов движения горноспасателей

Моделирование процесса протекания экзогенного пожара в шахте является сложной задачей. Достаточно точных аналитических решений в настоящее время не существует. Поэтому база знаний этого процесса для рассматриваемой системы строится в виде текстовых структур, полученных путём экспертных оценок, и проведения имитационного логико-математического моделирования (ЛММ) аварийных процессов [69, 61]. При этом возможные решения на основании базы знаний определяются с использованием принципов нечёткой логики. Записи имеют нижеследующий ветвящийся вид. Данная семантическая структура изображена на рис.2.9.

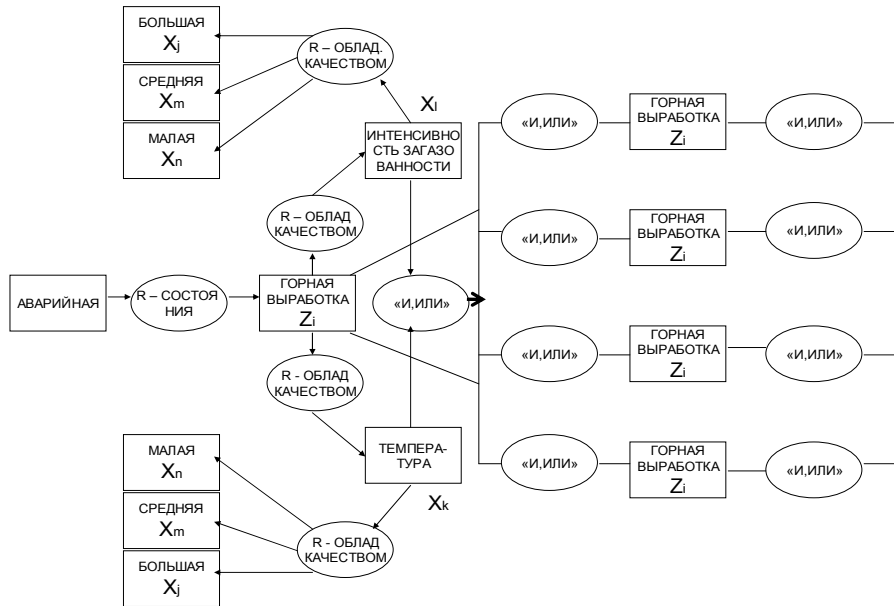


Рис. 2.9. Семантическая структура информации о зонах загазованности и температурных полях в подземных выработках шахты

Здесь $Z_{(j)}, Z_{(m)}, Z_{(n)}$ - понятия, характеризующие интенсивность загазованности ($Z_{(l)}$) горных выработок и температуру ($Z_{(k)}$) окружающей среды; $Z_{(i)}$ - наименование горной выработки.

Маршруты эвакуации людей и движения горноспасателей определяются путём проведения операций объединения и пересечения:

$$M_0 = \min [\underset{\mu_{(j,i)} \cup \mu_{(z,i)}}{Max} \underset{\mu_{(j,i)} \cap \mu_{(z,i)}}{Min} (K_{(S)[\text{множество маршрутов эвакуации людей}]_{(j,i)}}, K_{(S)[\text{аварийных зон}]_{(z,i)}})], \quad (2.3)$$

где $K_{(l,i)}$ - класс l - маршрутов эвакуации людей и движения горноспасателей, состоящих из i - горных выработок;

$K_{(z,i)}$ - класс Z - зон загазованностей и температурных полей в вентиляционной системе шахты;

$\mu_{(l,i)}, \mu_{(z,i)}$ - соответственно, вероятность нахождения людей в i -ой выработке l -го маршрута и принадлежность значения «концентрации» вредных газов или «температуры» установленным интервалам шкал в i -ой выработке Z -ой аварийной зоны в фиксированный момент времени.

На рис. 2.10 представлен фрагмент вентиляционной системы шахты с нанесённым местом пожара, маршрутами движения горноспасателей и путями эвакуации людей.

Все нечёткие базы знаний формируются по результатам эксплуатации шахт и на основании имитационного моделирования аварийных процессов по ранее установленным опытным зависимостям.

Для ЛММ аварийных процессов на сетевом объекте шахты используются базы знаний с нечёткими параметрами, каждая из которых в компактном виде выглядит следующим образом:

$$\mu^{d_j}(h_1, h_2, \dots, h_n) = \max_{p=1, k_j} \{w_{jp} \min_{i=1, n} [\mu^{a_i^p}(h_i)]\}, j = \overline{1, m} \quad (2.4)$$

В частности, зависимость (2.4) используется при моделировании процессов эвакуации людей из шахты и маршрутов движения отделений ГВГСС.

2.4. Практическая реализация методов логико-математического моделирования аварийных процессов на моделях вентиляционных систем шахт

2.4.1. Моделирование процесса движения горноспасателей в горных выработках шахт через аварийные зоны

Результаты расчета маршрутов движения горноспасателей отображаются на главном окне программы рис.2.11.

Маршруты рассчитываются автоматически после окончания расчета температурного поля. Однако можно пересчитать маршруты нажатием на кнопку «Рассчитать маршруты» (рис.2.12). Это позволяет изменить время пребывания отделений ГВГСС в опасной зоне и оперативно переопределить маршруты без пересчета температурного поля.

Оптимальные маршруты можно сохранить в базу данных. Для этого нужно выбрать маршрут из списка и нажать кнопку «Сохранить маршрут». Программа сообщит о результате сохранения.

Построение нечётких динамических реляционных таблиц распространения температурных полей рассмотрим на модели вентиляционной системы шахты.

Таблица строится на основании значений температуры в каждой выработке в каждый момент времени. Для этого используется функция принадлежности. Функция принадлежности определяет степень попадания конкретного значения температуры в заданный интервал.

Для построения нечеткой реляционной таблицы требуются данные о развитии температурного поля. После окончания расчета пользователь может вывести на экран нечеткую реляционную таблицу температур. На рис.2.13 показан её фрагмент.

Из этой таблицы видно, что в выработке Z125 через 5 часов (18000 секунд) будет высокая температура, тогда как в других – нормальная. Для человека такое представление данных удобнее, чем столбцы с непосредственными значениями температур.

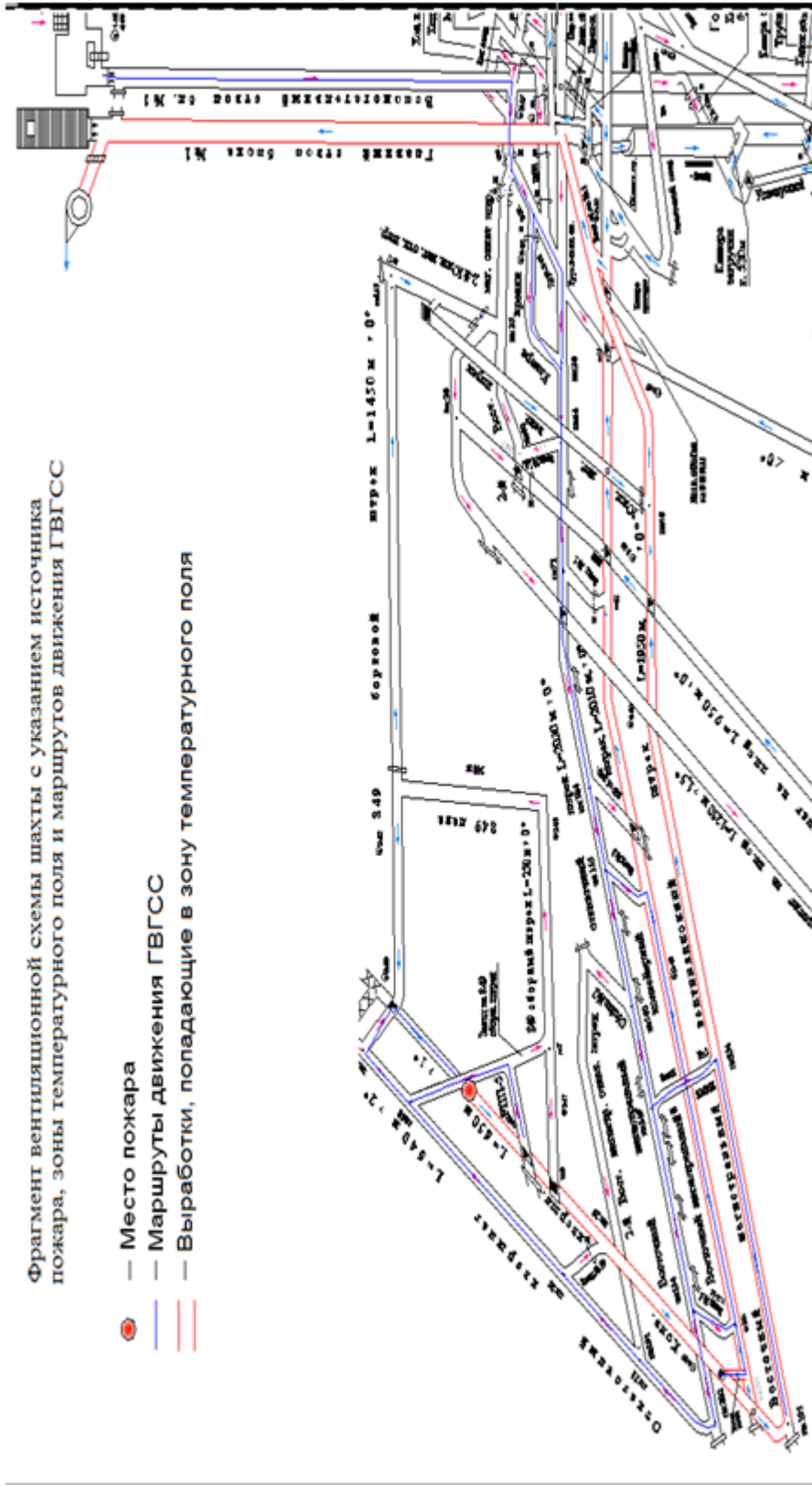


Рис. 2.10. Фрагмент схемы вентиляционной системы шахты с указанием места пожара, аварийной зоны и маршрутов движения подразделений ГВГСС

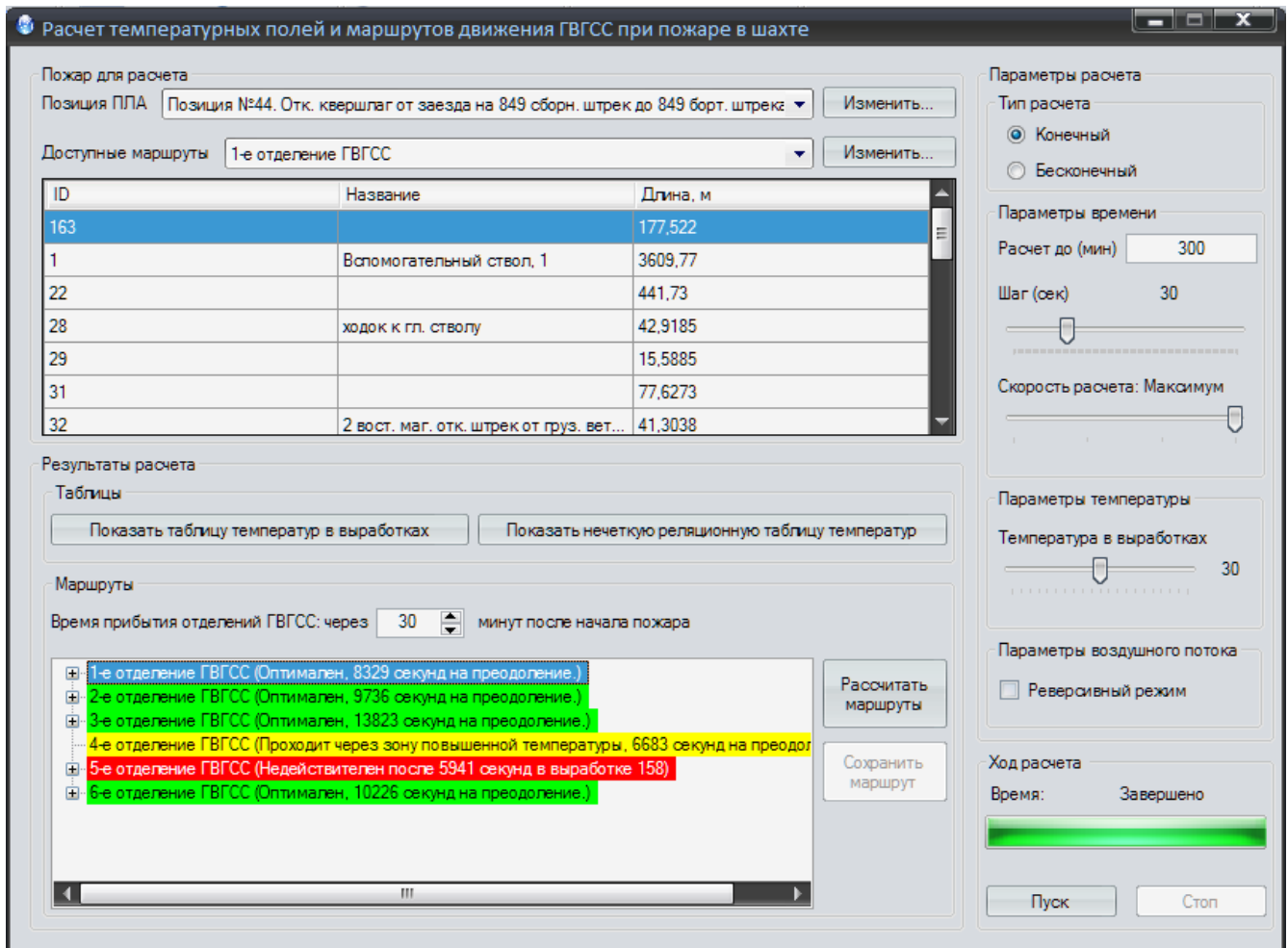


Рис. 2.11. Главное окно программы для расчёта температурных полей и маршрутов движения подразделений ГВГСС

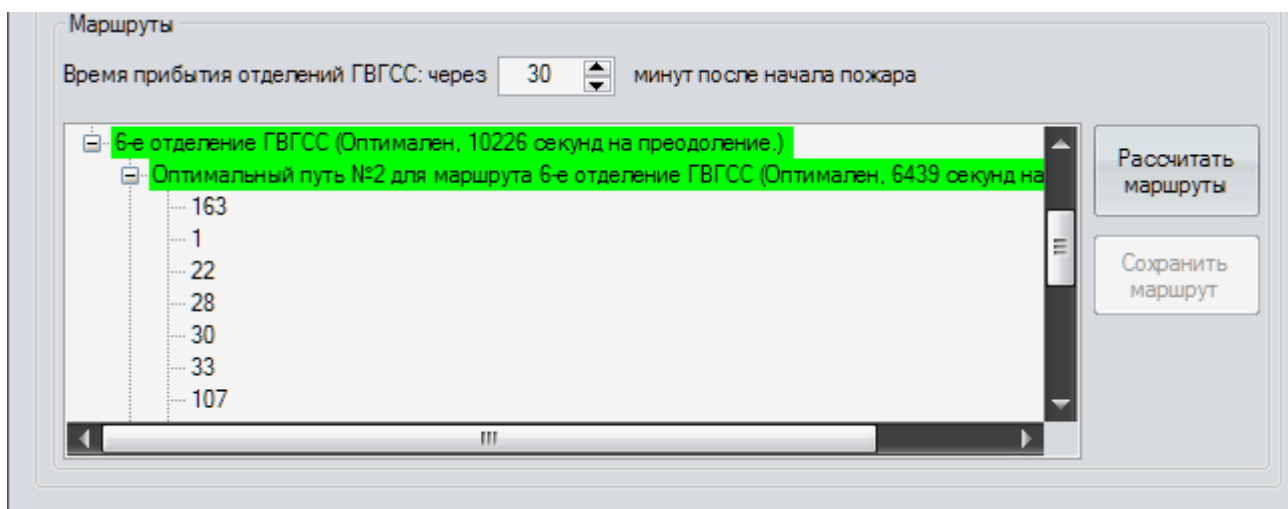


Рис. 2.12. Просмотр оптимального маршрута

Нечеткая реляционная таблица значений температур в выработках

Показать только те выработки, которые попали в зону температурного поля

Сохранить таблицу в файл

Время (сек)	Температура\Выработки	12	14	16	17	18	53	54	125	128	129
17790	Нормальная	0,5046686	0,5000001	0,5	0,5	0,5150413	0,5277585	0,5479218		0,5537394	0,7795652
17790	Повышенная										
17790	Высокая								1		
17820	Нормальная	0,5046977	0,5000001	0,5	0,5	0,5151319	0,5278789	0,5482179		0,5540615	0,7808884
17820	Повышенная										
17820	Высокая								1		
17850	Нормальная	0,5047271	0,5000001	0,5	0,5	0,5152231	0,5279995	0,5485151		0,5543852	0,7822143
17850	Повышенная										
17850	Высокая								1		
17880	Нормальная	0,5047563	0,5000001	0,5	0,5	0,5153145	0,5281199	0,5488135		0,5547095	0,7835439
17880	Повышенная										
17880	Высокая								1		
17910	Нормальная	0,5047855	0,5000001	0,5	0,5	0,5154058	0,5282406	0,5491113		0,5550346	0,7848765
17910	Повышенная										
17910	Высокая								1		
17940	Нормальная	0,5048155	0,5000001	0,5	0,5	0,5154972	0,5283612	0,5494134		0,5553614	0,7862123
17940	Повышенная										
17940	Высокая								1		
17970	Нормальная	0,5048457	0,5000001	0,5	0,5	0,5155889	0,5284818	0,5497149		0,5556887	0,78755
17970	Повышенная										
17970	Высокая								1		
18000	Нормальная	0,5048758	0,5000001	0,5	0,5	0,5156806	0,5286028	0,5500177		0,5560171	0,7888916
18000	Повышенная										
18000	Высокая								1		

Рис. 2.13. Фрагмент нечеткой реляционной таблицы

Ниже приведены интерфейсы разработанных программ.

Главное окно (рис.2.14) предоставляет пользователю возможности настройки аварийных параметров расчета и возможности просмотра результата.

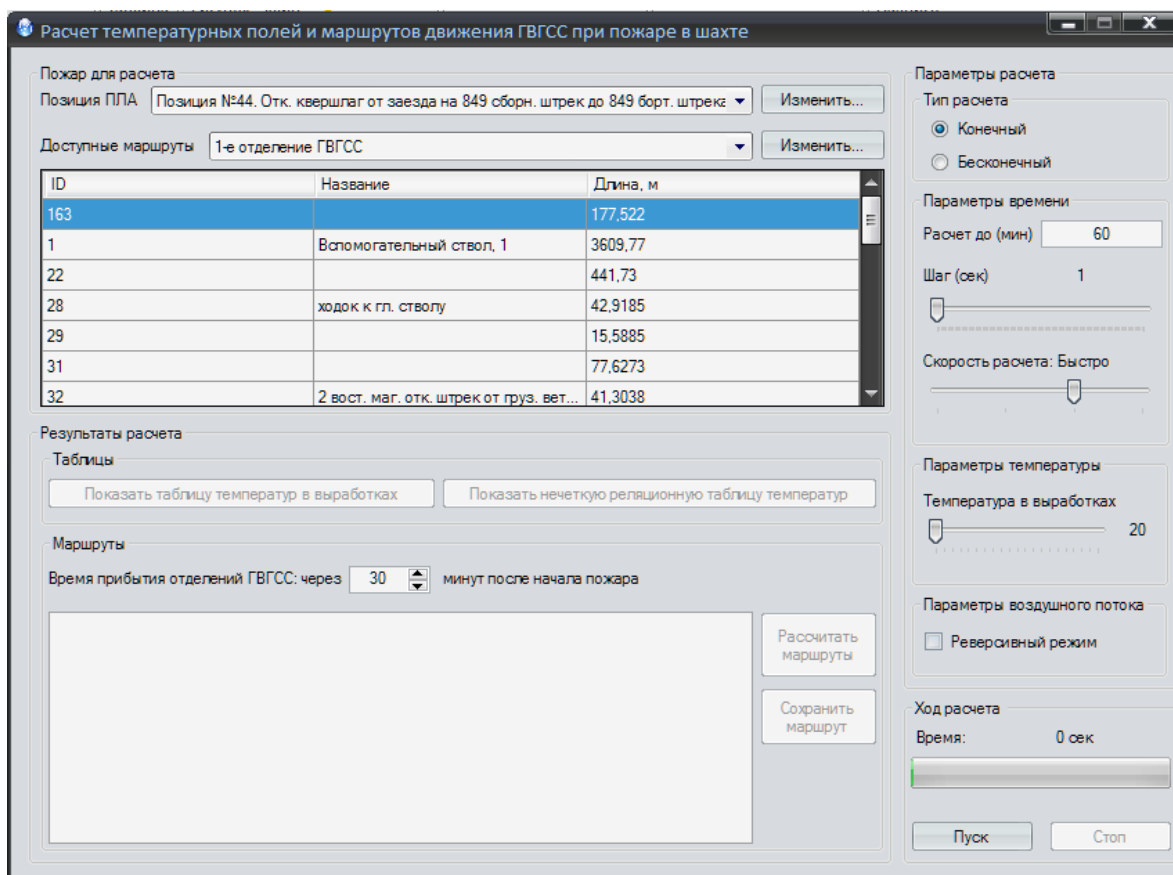


Рис. 2.14. Главное окно программы

Главное окно состоит из 4 панелей:

1) место пожара; 2) параметры расчета; 3) ход расчета; 4) результаты расчета.

Панель «место пожара» позволяет выбрать из выпадающего списка одну из позиций плана ликвидации аварии, которые существуют в базе данных. Так же при выборе позиции можно выбрать маршрут из списка доступных для этой позиции и просмотреть, по каким выработкам он проходит, их название и длину.

Окно управления позициями плана ликвидации аварии (рис.2.15) состоит из двух частей: В первой можно добавить новую позицию. Для этого необходимо указать имя и выбрать выработки, в которых возник пожар (минимум 1) и нажать кнопку «Добавить». Программа сообщит о результате добавления.

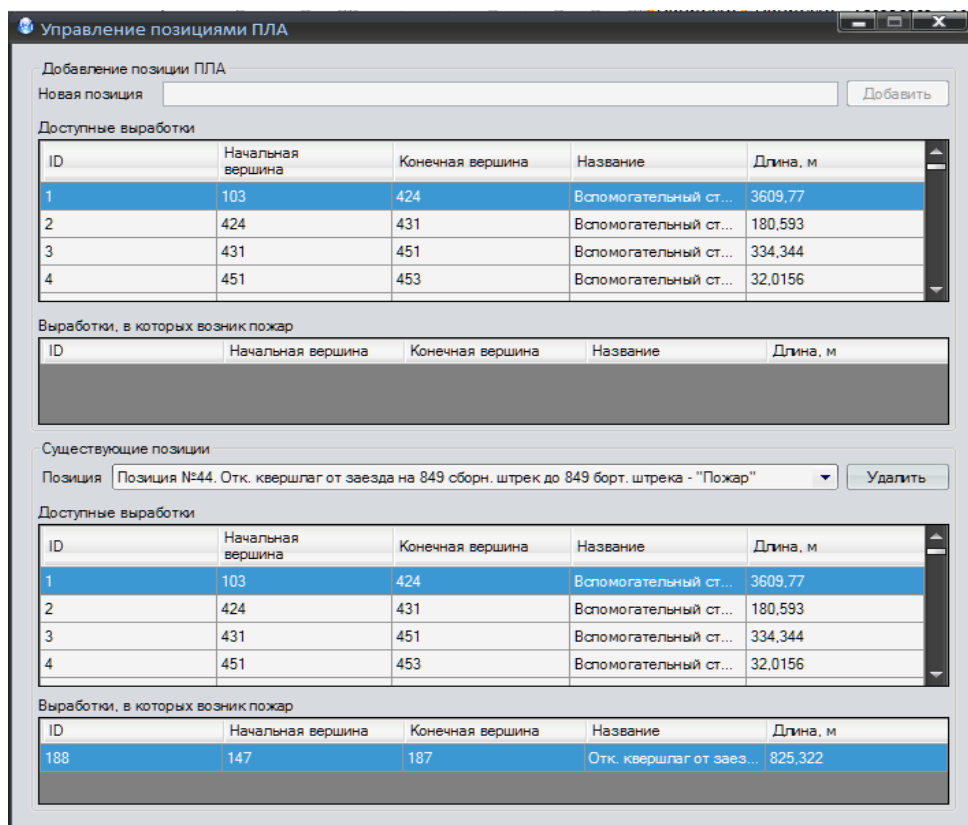


Рис. 2.15. Окно управления позициями плана ликвидации аварии

Во второй части можно просмотреть существующие позиции и для каждой список выработок, в которых возник пожар. Здесь же можно удалить позиции нажатием на кнопку «Удалить», а также добавить или удалить выработки из существующих позиций. Для этого достаточно два раза нажать левой кнопкой мыши на выработку в списке.

Нажатие на кнопку «Изменить» напротив списка маршрутов открывает окно управления маршрутами движения отделений ГВГСС (рис.2.16.).

Окно управления маршрутами движения подразделений ГВГСС также разделено на две части. В первой можно добавить новый маршрут в базу. Для этого нужно ввести имя маршрута, выбрать позицию, к которой этот маршрут будет применяться, и выбрать выработки, через которые он проходит. При выборе выработок маршрута программа автоматически показывает только те выработки, в которые можно попасть из выработки последней добавленной в маршрут. Во второй части окна можно более подробно просмотреть информацию о каждом маршруте для любой позиции. Для этого нужно выбрать позицию и маршрут из выпадающих списков. Также можно удалить маршрут нажатием на кнопку «Удалить».

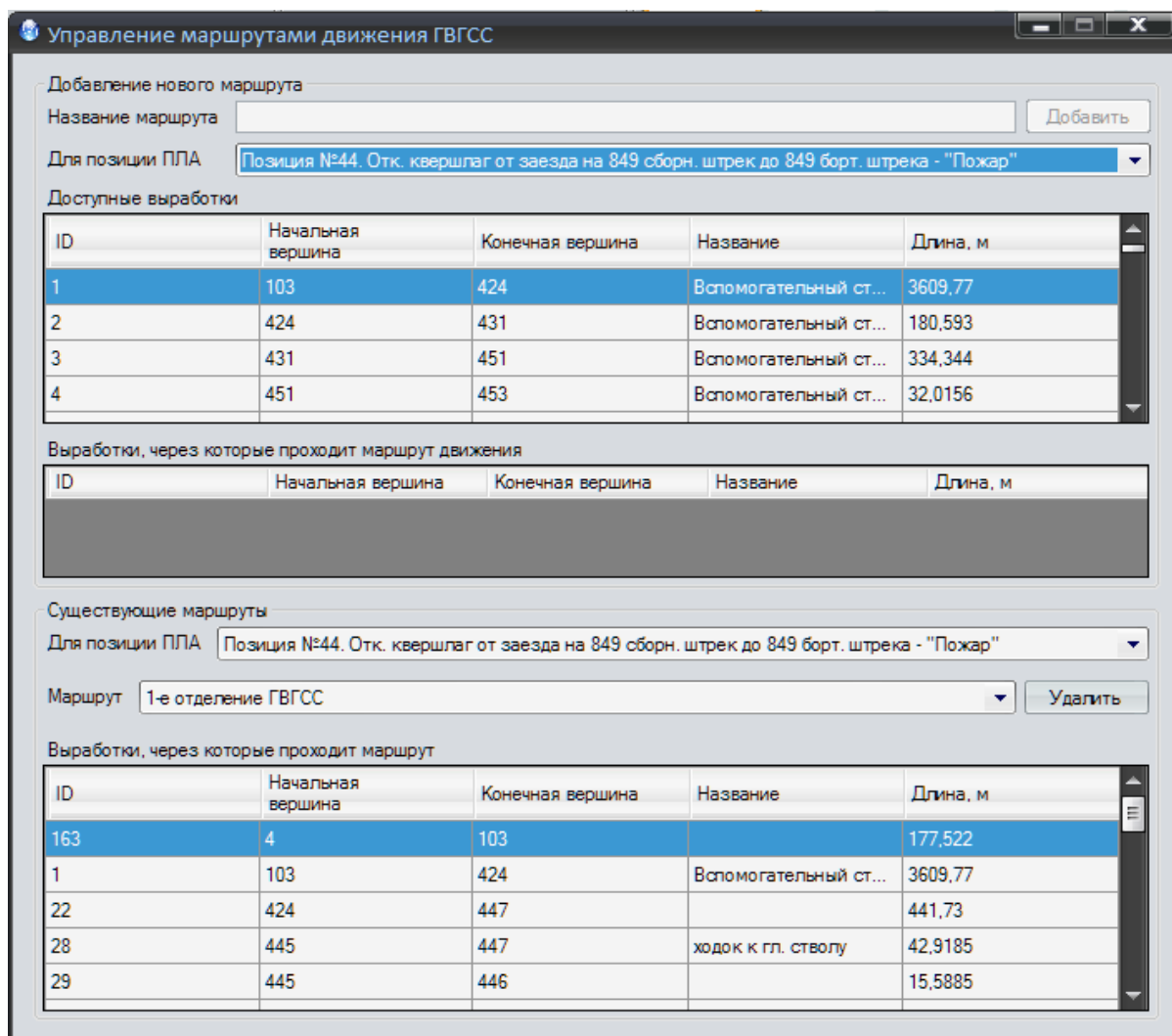


Рис. 2.16. Окно управления маршрутами движения отделений ГВГСС

2.4.2. Моделирование процесса эвакуации людей из шахты с учётом преодоления аварийных зон

При построении оптимальных по времени маршрутов выхода людей необходимо учитывать особенности каждой выработки, включённой в маршрут. Критерием выбора того или иного маршрута при аварии является время движения по нему с учётом сложившейся в шахте аварийной ситуации. Очевидно, что в маршруты могут быть включены не все, а лишь проходимые для человека выработки, причём степень их проходимости различна и существенно влияет на скорость движения по ним.

Факторами, определяющими скорость движения человека, является концентрация продуктов горения в выработке, температура воздуха, высота выработки и её угол наклона (относительно горизонта).

Влияние угла наклона на скорость будет различным. Оно будет различным в зависимости от направления движения по наклонной выработке.

По данным исследований в зависимости от степени задымлённости выработок скорость движения уменьшается на 30-50%.

В разработанной программе учитывается концентрация продуктов горения и угол наклона выработки. При этом угол наклона выработки оказывает влияние на время прохождения шахтером по выработке по следующей зависимости:

$$t = \frac{L}{80 * 100^{-0.2876 * \alpha}},$$

где t – время прохождения выработки (мин); L – длина выработки (м); α – угол наклона выработки (рад).

В разработанной программе пользователь вначале задает возможные места пожаров. Затем для каждого пожара задаются маршруты эвакуации людей. На основе рассчитанной зоны загазованности продуктами горения и введенных маршрутов эвакуации людей программа рассчитывает для каждого из введенных маршрутов все возможные перемещения из начальной точки в конечную выработку (движение против направления воздуха в выработках). Затем на основе уровня концентрации продуктов горения в выработках и угла наклона из полученных маршрутов программа выбирает оптимальный вариант в смысле минимизации времени прохождения через зоны высокой загазованности и температуры и предлагает по возможности до 4-х альтернативных маршрутов проходимых для человека.

Маршруты отображаются в форме дерева, при этом узлы дерева – введенные маршруты, листья дерева – соответственно найденные оптимальные маршруты. При этом самый оптимальный маршрут окрашивается в зеленый цвет. Не подходящий для движения людей маршрут – в красный.

При выделении одного из маршрутов можно просмотреть список выработок маршрута. Окно программы изображено на рис.2.17.

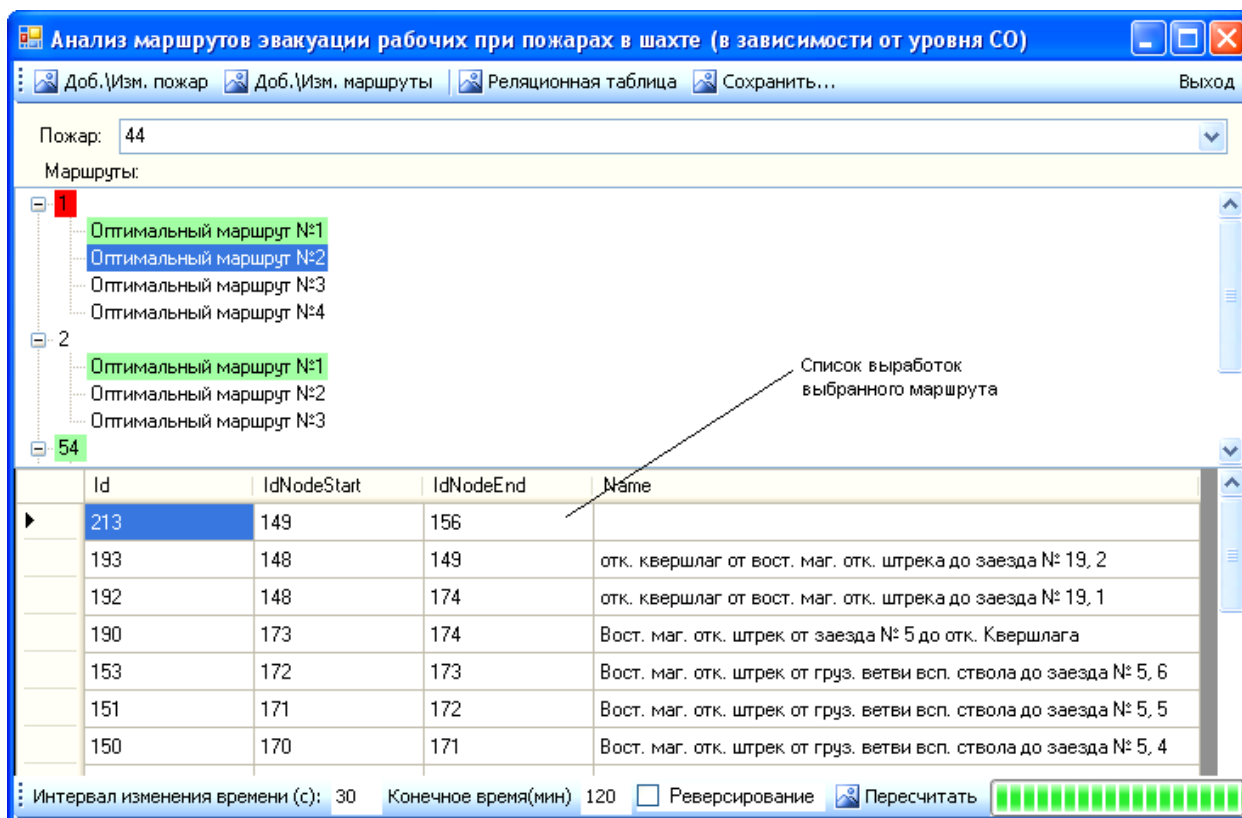


Рис. 2.17. Анализ маршрутов эвакуации людей из шахты в аварийных ситуациях

Рассмотрим результаты работы программы для построения нечётких реляционных таблиц распространения продуктов горения по вентиляционной системе шахты.

Зона загазованности представляет собой совокупность маршрутов распространения пожарных газов по сети, определяемых существующим на данный момент распределением потоков воздуха. Такая трактовка предполагает предварительное построение последовательности узлов. В соответствии с этим расчёт разносимой по сети концентрации пожарных газов определяется по формуле:

$$c_j = \sum_i c_i g_i / \sum_i g_i,$$

где c_i и g_i - соответственно концентрации пожарных газов и массовый расход воздуха в ветвях, входящих в рассматриваемый j -й узел.

Очевидно, что исходную концентрацию пожарных газов и массовый расход воздуха в ветви или узле с пожаром необходимо задавать или определять в зависимости от характеристики пожара.

В программе исходная концентрация пожарных газов задается зависимостью

$$C = \begin{cases} 0, & \text{если } \rightarrow t < 0; \\ 10 * 2 * \left(\frac{t}{30}\right)^2, & \text{если } \rightarrow 0 \leq t < 15; \\ 10 * \left(1 - 2 * \left(\frac{t - 30}{30}\right)^2\right), & \text{если } \rightarrow 15 \leq t < 30; \\ 10, & \text{если } \rightarrow t > 30, \end{cases}$$

где C – концентрация пожарных газов (%); t – время (С).

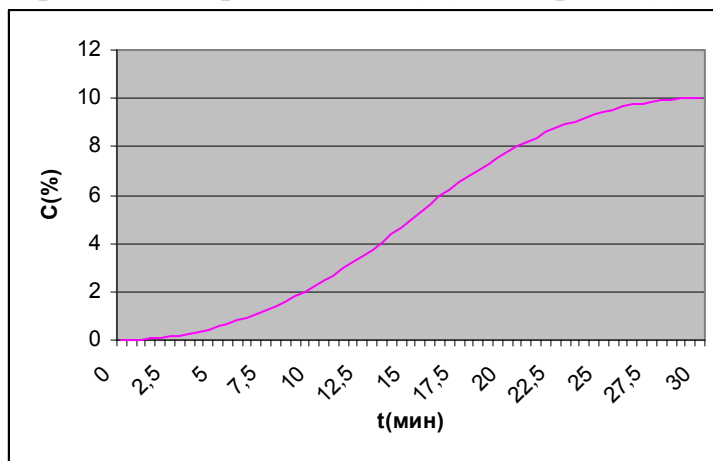


Рис. 2.18. Зависимость концентрации CO от времени горения

Для построения нечеткой реляционной таблицы используется функция принадлежности треугольного вида. Исходя из функции, в соответствующие ячейки нечеткой реляционной табл. 2.5 заносятся значения от 0 до 1.

Таблица 2.5

Значения функций принадлежности заданным интервалам

Время (мин)	Концентрация	188	187	191	159	158	156	147	142
30	Небольшая								
30	Большая					0,567431			
30	Очень большая	1	1	1	0,311868				
35	Небольшая						0,540346	0,279178	0,182407
35	Большая								
35	Очень большая	1	1	1	1	1			
40	Небольшая								
40	Большая							0,646578	0,297117
40	Очень большая	1	1	1	1	1	0,408211		

В разработанной программе имеется возможность просмотреть рассчитанную реляционную таблицу и сохранить ее в *.csv файл (рис. 2.19).

Время (мин)	Концентрация	188	187	191	159
1	Небольшая	0,044444444444...			
1	Большая				
1	Очень большая				
5	Небольшая				
5	Большая	0,111111111111...			
5	Очень большая				
10	Небольшая		0,255074786156...		
10	Большая				
10	Очень большая	1			
15	Небольшая			0,442505907110...	
15	Большая				
15	Очень большая	1	0,295673075407...		
20	Небольшая				
20	Большая				
20	Очень большая	1	1	0,609881778672...	
25	Небольшая				0,3251063807
25	Большая				
25	Очень большая	1	1	1	

Рис. 2.19. Нечёткая реляционная таблица концентрации угарного газа

Пожар:

Маршруты:

- в вост. маг. конв. штр. от заезда № 1 до конв. кв-га на пл. с10 - 2
- в вост. маг. конв. штр. от изоляционной перемычки до заезда № 1 - 1
- в вост. маг. конв. штр. от изоляционной перемычки до заезда № 1 - 2
- в вост. маг. конв. штр. от изоляционной перемычки до заезда № 1 - 3
- в конв. кв-ге от 849 сборн. штр. до заезда № 19
- в конв. кв-ге от забоя погашения до заезда № 19
- в конв. кв-ге от заезда № 19 до углесп. гезенка, углесп. гезенке
- в конв. кв-ге от заезда № 19 до углесп. гезенка, углесп. гезенке - 2

Оптимальный маршрут №1
Оптимальный маршрут №2

Id	IdNodeStart	IdNodeEnd	Name
159	234	235	Углеспускной гезенк с конв. квершлага на вост. маг. конв. Штрек
158	200	235	Вост. маг. конв. штрек от углесп. гезенка до заезда № 5
155	173	200	Заезд № 5
153	172	173	Вост. маг. отк. штрек от груз. ветви всп. ствола до заезда № 5, 6
151	171	172	Вост. маг. отк. штрек от груз. ветви всп. ствола до заезда № 5, 5
150	170	171	Вост. маг. отк. штрек от груз. ветви всп. ствола до заезда № 5, 4
145	169	170	Вост. маг. отк. штрек от груз. ветви всп. ствола до заезда № 5, 3

Интервал изменения времени (с): 30 Конечное время(мин) 120 Реверсирование

Рис. 2.20. Главное окно программы «Анализ маршрутов эвакуации людей при пожарах в шахтах»

Главное окно позволяет выбирать «пожар» и просматривать соответственные введенные и рассчитанные оптимальные маршруты, а также оно отображает непроходимые маршруты. Существует возможность изменить интервал изменения времени и задать конечный момент, до которого будут произведены расчеты. Также можно реверсировать направления потоков воздуха в шахте, нажав кнопку «Реверсирование». После внесенных изменений необходимо нажать кнопку «Пересчитать». Для визуализации зоны загазованности можно сохранить расчеты в *.csv файл, нажав на кнопку «Сохранить...». Также возможно просмотреть нечеткую реляционную таблицу нажав кнопку «Реляционная таблица» (2.21). Для добавления пожаров необходимо нажать кнопку «Доб.\Изм. пожар». Для добавления маршрутов необходимо нажать кнопку «Доб.\Изм. маршруты».

Время (мин)	Концентрация	188	187	191	159
1	Небольшая	0,044444444444...			
1	Большая				
1	Очень большая				
5	Небольшая				
5	Большая	0,111111111111...			
5	Очень большая				
10	Небольшая		0,255074786156...		
10	Большая				
10	Очень большая	1			
15	Небольшая			0,442505907110...	
15	Большая				
15	Очень большая	1	0,295673075407...		
20	Небольшая				
20	Большая				
20	Очень большая	1	1	0,609881778672...	
25	Небольшая				0,3251063807
25	Большая				
25	Очень большая	1	1	1	

Рис. 2.21. Нечёткая реляционная таблица концентрации угарного газа (CO)

В этом окне можно просмотреть реляционную таблицу и при необходимости сохранить в *.csv файл, нажав правой кнопкой на таблицу и в контекстном меню выбрать пункт «сохранить».

В окне на рис.2.22 можно добавить в базу вид пожара, введя в поле «Название пожара» наименование и нажав кнопку «Добавить». Для выбранного в выпадающем списке пожара можно добавить ветви с пожаром, дважды щелкнув на ветвь в таблице «выбор ветвей» при этом ветвь поместиться в таблицу «Выработки с пожаром». Чтобы удалить последнюю добавленную ветвь необходимо дважды щелкнуть на таблице с пожаром «Выработки с пожаром». При нажатии кнопки «Удалить» удаляется выбранный в выпадающем списке пожар.

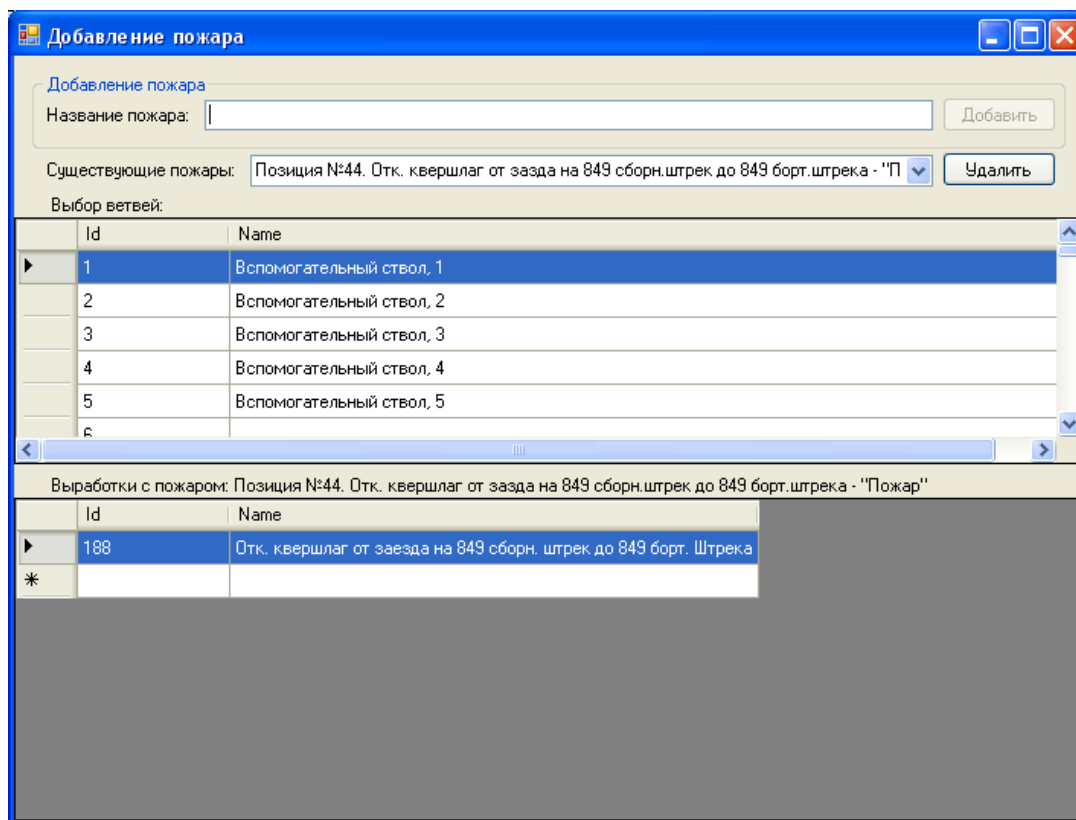


Рис. 2.22. Добавление вида пожара

В этом окне можно добавить в базу вид пожара, введя в поле «Название пожара» наименование и нажав кнопку «Добавить». Для выбранного в выпадающем списке пожара можно добавить ветви с пожаром, дважды щелкнув на ветвь в таблице «выбор ветвей» при этом ветвь поместиться в таблицу «Выработки с пожаром». Чтобы удалить последнюю добавленную ветвь необходимо дважды щелкнуть на таблице с пожаром «Выработки с пожаром». При нажатии кнопки «Удалить» удаляется выбранный в выпадающем списке пожар.

В окне на рис.2.23 можно для выбранного в выпадающем списке пожара создавать, редактировать и удалять маршруты. Для добавления необходимо в поле «Имя маршрута» ввести имя и нажать кнопку «Создать маршрут». Для формирования выбранного маршрута можно производить такие же действия, как и для пожара в окне добавления / изменения пожара с одним исключением.

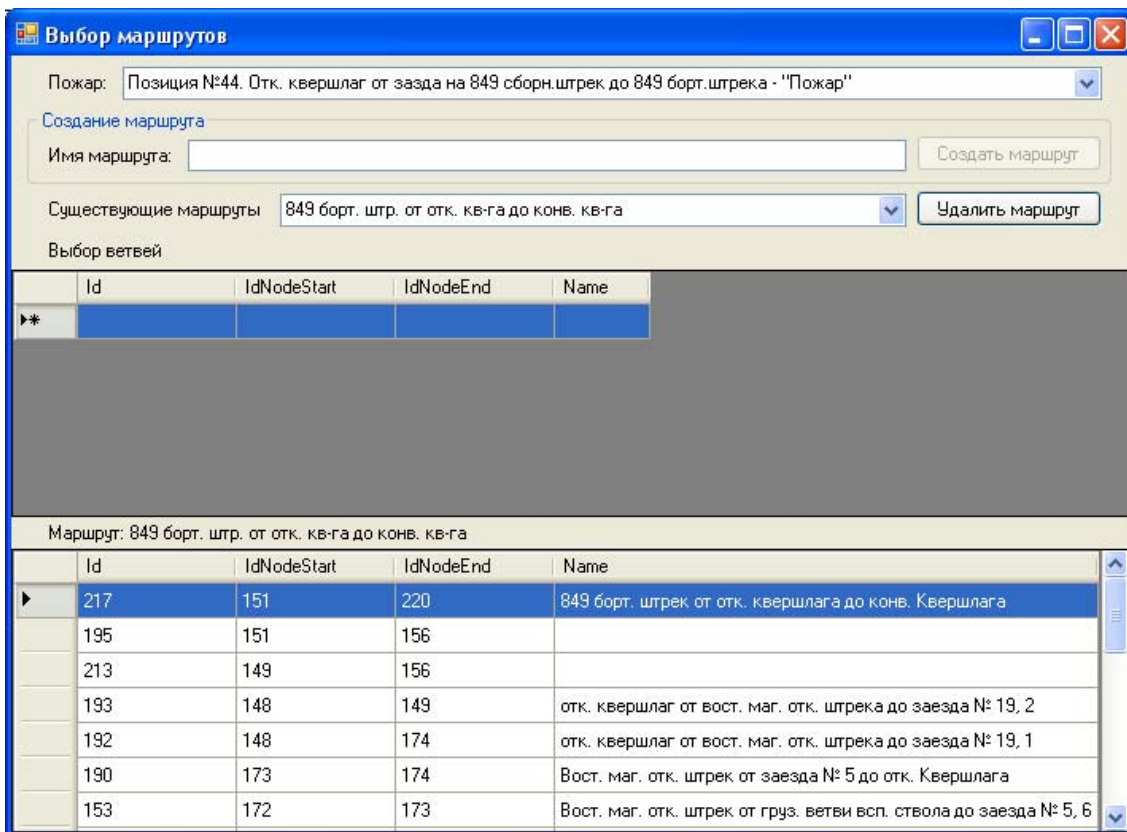


Рисунок 2.23. Выбор маршрутов эвакуации из шахты

При добавлении одной ветви, в таблице «Выбор ветвей» отображаются только соединенные с ней ветви. При нажатии кнопки «Удалить» удаляется выбранный в выпадающем списке маршрут.

Подробно результаты моделирования этих процессов приведены в Приложении В.

2.5. Идентификация нечётких импликативных логико-математических зависимостей базы знаний автоматизированной системы

2.5.1. Использование нечеткой нейронной сети модели TSK для идентификации расходов воздуха в сетевых моделях вентиляционных систем шахт

Выходное значение многомерного процесса выбора управляющих воздействий в условиях неопределённости (неполная информация об объектах контроля и управления, стохастическая природа контролируемых параметров) можно представить как выходной сигнал многомерного нелинейного процесса и параметров нечёткой системы. В литературе [62, 63] отмечается, что эти выражения позволяют аппроксимировать с произвольной точностью любую нелинейную функцию многих переменных суммой нечётких функций одной переменной. Структура этих зависимостей такова, что позволяет идеально системно представлять их в виде равномерной многослойной нечёткой нейронной сети [63, 64]. В данной работе функции нечёткой системы

включаются в структуру нечеткой нейронной сети, с помощью которой можно решать системы нечетких нелинейных систем для идентификации расходов воздуха в подземных выработках в зависимости от состояния управляющих органов активных и пассивных регуляторов шахты. Основной идеей обучения является уточнение параметров реляционных таблиц базы данных системы принятия решений, предварительно заданных экспертами или полученных с помощью других методов.

2.5.2. Нечеткая нейронная сеть модели TSK для идентификации импликативных зависимостей базы знаний

В данном разделе рассматривается вариант структуры нечёткой сети базы знаний о распределении расходов воздуха в выработках шахт в зависимости от состояний активных и пассивных регуляторов.

Обобщённую схему вывода в модели нечёткой сети при использовании M правил и N переменных x_i можно представить в виде

$$\begin{aligned}
 & IF(z_1.R \frac{Z_1^{(1)}}{\text{var}[0 < \mu_{11} \leq 1]})(I,III)(z_2.R \frac{Z_2^{(1)}}{\text{var}[0 < \mu_{12} \leq 1]})(I,III)...(I,III)(z_N.R \frac{Z_N^{(1)}}{\text{var}[0 < \mu_{1N} \leq 1]}), THEN q_1 = q_{10} + \sum_{j=1}^N q_{1j} z_j; \\
 & IF(z_1.R \frac{Z_1^{(2)}}{\text{var}[0 < \mu_{21} \leq 1]})(I,III)(z_2.R \frac{Z_2^{(2)}}{\text{var}[0 < \mu_{22} \leq 1]})(I,III)...(I,III)(z_N.R \frac{Z_N^{(2)}}{\text{var}[0 < \mu_{2N} \leq 1]}), THEN q_2 = q_{20} + \sum_{j=1}^N q_{2j} z_j; \\
 & \dots \\
 & IF(z_1.R \frac{Z_1^{(M)}}{\text{var}[0 < \mu_{M1} \leq 1]})(I,III)(z_2.R \frac{Z_2^{(M)}}{\text{var}[0 < \mu_{M2} \leq 1]})(I,III)...(I,III)(z_N.R \frac{Z_N^{(M)}}{\text{var}[0 < \mu_{MN} \leq 1]}), THEN q_M = q_{M0} + \sum_{j=1}^N q_{Mj} z_j.
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

где Z_i – состояния управляющих органов активных и пассивных регуляторов;
 q – управляемый параметр; $\mu_A(z_i)$ – оператор, характеризующий принадлежность значения управляющего параметра к заданному интервалу.

Условие $IF(z_i.R \frac{Z_i^{(k)}}{\text{var}[0 < \mu \leq 1]})$ реализуется функцией нечёткости, которая представляется в сетях в форме алгебраического произведения обобщённой функции Гаусса отдельно для каждой переменной.

В нечётких сетях целесообразно задавать это условие в форме алгебраического произведения, из которого следует, что для k -го правила вывода

$$\mu_A^k(z) = \prod_{j=1}^N \left[\frac{1}{1 + \left[\frac{z_i - c_j^{(k)}}{\sigma_j^{(k)}} \right]^{2b_j^{(k)}}} \right] \quad (2.6)$$

где c, σ, b - параметры функции Гаусса; $\mu_A(z_i)$ - представляет оператор: A_i - частные производные k -го правила вывода по каждому параметру функции Гаусса.

В нечётких сетях целесообразно задавать это условие в форме алгебраического произведения, из которой следует, что для k -го правила вывода производные: $\frac{\partial w_r^*}{\partial c_j^{(k)}}, \frac{\partial w_r^*}{\partial \sigma_j^{(k)}}, \frac{\partial w_r^*}{\partial b_j^{(k)}}$, можно записать иначе. (Приложение С).

2.6. Определение управляющих воздействий в технологических системах шахты при аварийных ситуациях

Технические и организационные мероприятия, которые приведены в текстовой части планов ликвидации аварий (табл. 2.2), дают возможность с достаточной точностью определять управляющие воздействия при составлении оперативных ПЛА. Для этого необходимо установить, какой позиции ПЛА наиболее точно соответствует оперативная обстановка, сложившаяся на объекте управления после проведения подразделениями ГВГСС разведки.

Пример базы данных ПЛА шахты «Западно-донбасская» ОАО «Павлоградуголь» приведена в Приложении D.

Каждый «возможный прецедент» (позиция ПЛА) имеет имя I_name_l , и на основании разработанных правил отнесён к одному из заранее определённых классов проблемной среды (ПС – шахты в аварийной обстановке) $category_l$ (например, «Пожар во втором вентиляционном штреке»).

Возможный прецедент представляет собой объекты (классы и их свойства) онтологии процессов ликвидации аварийных ситуаций на шахтах, выраженные через совокупность параметров описания проблемной среды D_s , её решения S_l и оперативного плана действия Sc_l по её устранению.

Существующие алгоритмы для организации процесса рассуждений на основе онтологии не позволяют производить анализ и сравнение свойств экземпляров типов. В работе разработан метод поиска и реализующий его алгоритм, который позволил учитывать как стандартные процедуры вывода на онтологии, так и поиск по аналогии, который даёт возможность сопоставить текущую аварийную ситуацию с возможными аварийными ситуациями в онтологии прецедентов в ПЛА и выбрать наиболее подходящий из них [66, 67].

Шаг 1. При установлении соответствия реальной оперативной обстановки и аварийной ситуации, полученной в результате моделирования пожара на сетевой модели вентиляционной системы шахты (структурная идентификация) используется следующее выражение:

$$Sim_{is-a}(k_{[аварийных_зон]_{ВП(I)}}, k_{[аварийных_зон]_{РР(I)}}) = \frac{|K_{[аварийных_зон]_{ВП(I)}} \cap K_{[аварийных_зон]_{РР(I)}}|}{|K_{[аварийных_зон]_{ВП(I)}} \cup K_{[аварийных_зон]_{РР(I)}}|}, \quad (2.7)$$

где $K_{(S)[орг.и_техн._мер.]_{(L)}}$ и $KP_{(S)[орг.и_техн._мер.]_{(L)}}$ – текстовые структуры организационных и технических мероприятий ПЛА.

Шаг 2. Затем необходимо определить, отличаются ли технические и организационные мероприятия (6 классов $K_{(i,j,m,k,l,s)}$), ранее проведённые с мероприятиями, которые предусмотрены ПЛА для обстановки, сложившейся на момент после разведки шахты подразделениями ГВГСС (6 классов $KP_{(i,j,m,k,l,s)}$).

Если эти мероприятия обладают достаточной мерой сходства, то дополнительных управляющих воздействий нет. Если же имеется достаточное отличие, то эти мероприятия определяются путём проведения специальных операций с текстовыми структурами организационных и технологических мероприятий позиций ПЛА.

Шаг 3. С текстовыми структурами $K_{(S)[орг.и_техн._мер.]_{(L)}}$ и $KP_{(S)[орг.и_техн._мер.]_{(L)}}$ проводится операция *Разность*:

$$K_{(S)[орг.и_техн._мер.]_{(L)}} - KP_{(S)[орг.и_техн._мер.]_{(L)}} = K_{(S)[орг.и_техн._мер.]_{(L)}} \cap \overline{KP_{(S)[орг.и_техн._мер.]_{(L)}}}, \quad (2.8)$$

где $K_{(S)[орг.и_техн._мер.]_{(L)}}$ – класс организационных и технологических мероприятий суперкласса возможных прецедентов - позиций ПЛА, установленный путём моделирования пожара на сетевой модели вентиляционной системы шахты;

$KP_{(S)[орг.и_техн._мер.]_{(L)}}$ – класс организационных и технологических мероприятий суперкласса (позиции ПЛА), реализованных после ввода в действие ПЛА. Функция принадлежности для параметров, сравниваемых классов $a_{(i)}$ определяется по формуле:

$$\mu_{K_{(i)}-KP_{(i)}}(a_{(i)}) = \mu_{K_{(i)} \cap \overline{KP_{(i)}}}(a_{(i)}) = \min(\mu_{K_{(i)}}(a_{(i)}), 1 - \mu_{KP_{(i)}}(a_{(i)})). \quad (2.9)$$

В результате проведения операции (2.9) определяются управляющие воздействия (решения), которые необходимо реализовать в каждом конкретном случае – аварии на шахте.

На рис.2.24 изображен фрейм составления и корректировки суперкласса позиций ПЛА для базы знаний по управлению технологическими системами со связями через классы с базой знаний поддержки принятия решений для управления подразделениями ГВГСС при ликвидации аварий на шахтах.

В соответствии с предложенными моделями и алгоритмами, разработана методика для автоматизированного проектирования СИППР при ликвидации аварий с использованием онтологий. Особенность предложенной методики заключается в применении принципов объектно-когнитивного анализа на этапе моделирования, а также в интеграции моделей правил и прецедентов на основе онтологии на этапе формализации процесса поиска решений. Поиск осуществляется на множестве прецедентов (позиций ПЛА) в $Onto^{ПЛА}$, включающих две обязательные составные части: описание аварийных ситуаций (D) и пути выхода из них (S). Описание представляет множество пар {дескриптор, значение}, где значение – ссылка на объект – экземпляр класса онтологии $Onto$, инкапсулирующего свойства определённого компонента СИППР при ликвидации аварий на шахтах и описывающий определённый её параметр. Пример реализации управляющих воздействий приведён в приложении D.

Таблица 2.6

Типовая структура текстовой информации для позиции плана ликвидации аварий для угольных шахт

Обозначение и наименование классов ПЛА	Пример реализации из ПЛА шахты «Западно-Донбасская»	Интерпретация на формальном языке
$K_{(s)} [\underset{\text{зон}}{\text{угрожаемых}}]_{(i)}$	<p>гл. «И» всп. стволы, загазованность малая, температура малая) «И» (надшахтное здание, загазованность малая, температура малая) «И» (выработка зап. крыла шахты г. 480 м, загазованность средняя, температура средняя) «И» (3 зап. маг. отк. штр, загазованность большая, температура средняя) «И» (выработка вост. крыла г. 480 м, загазованность малая, температура средняя) «И» (выработки и камеры околоств. двора г. 480 м, загазованность малая, температура малая) «И» (выработки бремсбергового поля шахты, загазованность средняя, температура малая) «И» (выработки конв. и отк. квершлагов на пл. С₁₀, загазованность большая, температура средняя</p>	$[Z(I) "И" Z(I)][R(J)Z(K)]_{(1)} "И" [Z(I)][R(J)Z(K)]_{(2)}$ $"И" [Z(I)][R(J)Z(K)]_{(3)} "И" [Z(I)][R(J)Z(K)]_{(4)}$ $"И" [Z(I)[R(J)Z(K)]_{(5)} "И" [Z(I)][R(J)Z(K)] "И"$ $[Z(I)][R(J)Z(K)]_{(6)} "И" [Z(J)][R(J)Z(K)]_{(7)}$
$K_{(s)} [\underset{\text{людей}}{\text{множества}}]_{j}$ <p style="text-align: center;"><i>маршрутов эвакуации</i></p>	<p>в отк. заезде на конв. ходок от зап. маг. отк. штр. до 800 борг. штр. — по отк. заезду на конв. ходок, камере приводов, зап. маг. конв. штр., камере пылеподавления к всп. стволу «И» на поверхность (5 мин)</p>	$Z(I)_{(1)} - Z(I)_{(2)} "И" Z(I)_3 "И"$ $Z(I)_{(4)} "И" Z(I)_{(5)} "И"$ $Z(I)_{(6)} "И" _ \text{поверхность_5_мин}$

$K_{(s)} \left[\begin{array}{l} \text{множество} \\ \text{маршрутов} \\ \text{движения} \\ \text{горноспасателей} \end{array} \right]_{(m)}$	<p>1-е отд. ГВГСС - по всп. стволу на г. 480 м, порожн. ветви, ходку к гл. стволу к камере пылеподавления для обследования камеры пылеподавления, сбойки на гл. ствол, камеры приводов «И» отк. заезда на конв. ходок до места аварии «И» вывода людей на свежую ближайшую струю воздуха «И» оказания им помощи</p>	<p>1-е отд. ГВГСС - $Z(I) "И" Z(I) "И" Z(I) "$ для _обследования_ _ $Z(I) "И" Z(I) "И" Z(I) "И" Z(I) "И" "$ _ вывода _людей_ _на_ _свежую_ _ ближайшую _струю_ _воздуха_ _ "И" _оказания_ _им_ _помощи_ _</p>
$K_{(s)} \left[\begin{array}{l} \text{вентиляци-} \\ \text{онных} \\ \text{режимов} \end{array} \right]_{(k)}$	<p>«Если вентилятор главного проветривания №1 реверсирован «И» регулятор в западном вентиляционном штреке, расположенный от вентиляционной сбойки №2 до южного квершлага, закрыт, То расход воздуха в 800-ой лаве имеет значение малый отрицательный»</p>	<p>((Z56R12Z59)R09(Z61R10(R25Z11 (R23Z217((R24Z213(R12Z65)) R22(Z66R11Z73R10Z220)))))) – здесь : Z220 – (800 – я _лава); Z217 – (вентиляционная _сбойка_ _№2); Z213 – (южный _квершлаг); Z201 – (западный _вентиляционный_ _штрек)"</p>
$K_{(s)} \left[\begin{array}{l} \text{технологических,} \\ \text{организационных} \\ \text{мероприятий} \end{array} \right]_{(l)}$	<p>1. Немедленно вызвать 2-й взвод 8 ВГСО.2. Обеспечить нормальную работу вентиляторов главного проветривания блоков № 1 и № 3. Отключить электроэнергию: в ЦПП г. 480 м - яч. №№ 8, 14, 17, 18; в РПП-2 - яч. № 6; в РПП-9 - яч. № 4.</p>	<p>1. Z(I) 2-й взвод 8 ВГСО</p>

	<p>2. Оповестить об аварии всех людей в шахте системой ИГАС-3 и телефонами. В первую очередь оповещаются люди, которые находятся на аварийных и угрожаемых участках.</p> <p>3. Вывести людей находящихся в аварийных и угрожаемых выработках.</p> <p>4. Подготовить поезд на г. 585 м и г. 480 м для доставки отделений ГВГСС.</p> <p>5. Обеспечить нормальную работу вакуум-насосной станции и вакуум-насосной станции блока № 3.</p> <p>.....</p> <p>27. Выдать задания отделениям ГВГСС.</p>	<p>2. Z(I) блоков № 1 и № 3. Z(I) в ЦПП г. 480 м - яч. №№ 8, 14, 17, 18; в РПП-2 - яч. № 6; в РПП-9 - яч. № 4.</p> <p>3. Z(I) системой ИГАС-3</p> <p>4. Z(I) на г. 585 м и г. 480 м</p> <p>5. Z(I) и вакуум-насосной станции блока № 3.</p> <p>27. Z(I)</p>
$K_{(s)} \left[\begin{matrix} \text{ответственные} \\ \text{лица} \end{matrix} \right]_{(n)}$	<p>горный диспетчер, телефонистка, командир отряда, деж. у тел. ГВГСС, главный механик, маш. вентилятора, главный энергетик, смен. ИТР участков, члены ВГК, деж. насосной, деж.</p>	<p>Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I), Z(I)</p>

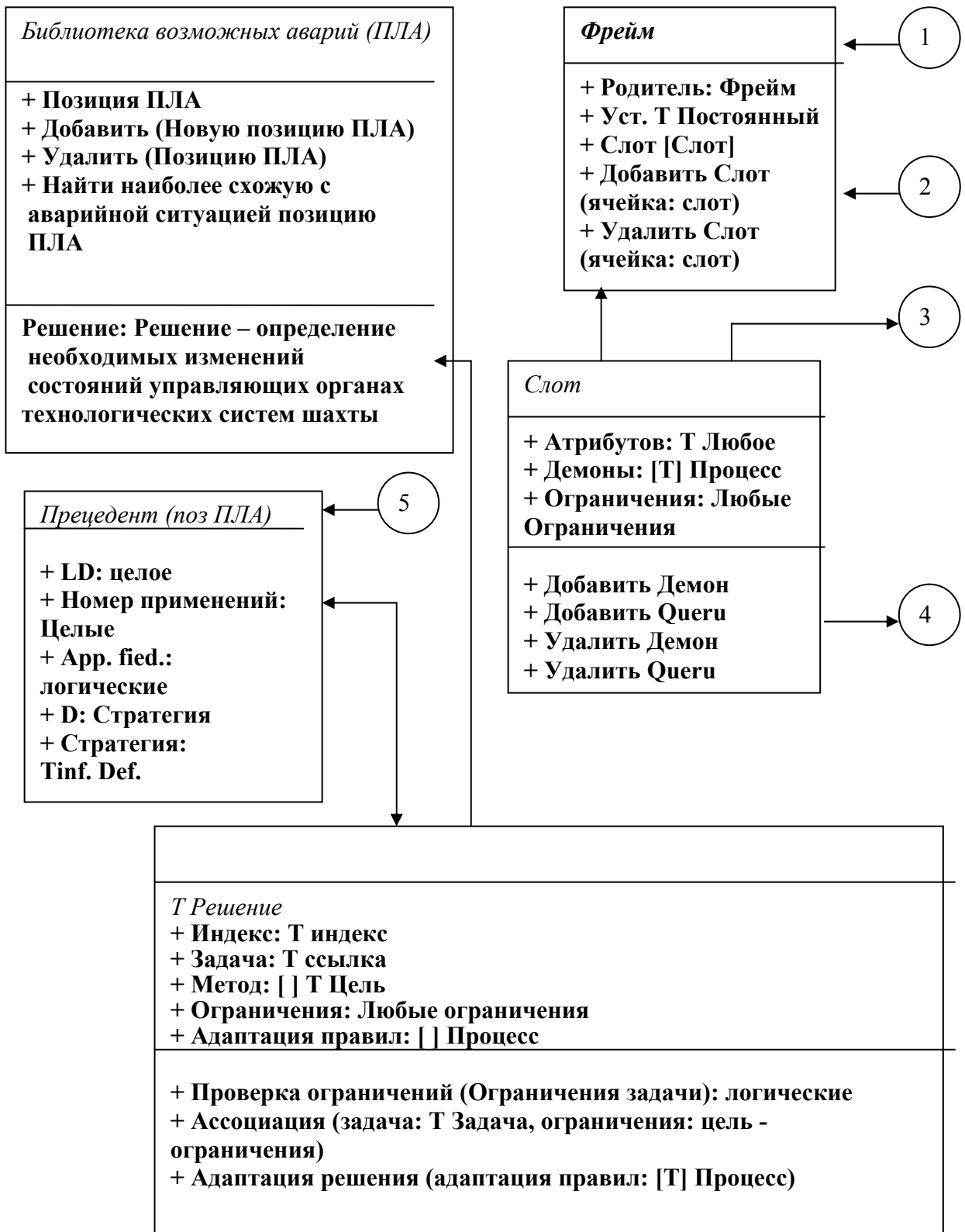


Рис. 2.24. Фрейм плана ликвидации аварий на шахтах

2.7. Выводы по второй главе

1. Для поддержки принятия решений при управлении технологическими и организационными системами шахт при ликвидации аварий обоснована возможность использования текстовой информации, содержащейся в ПЛА. Путём преобразования этой лингвистической информации с помощью нечётких простых операций пересечения, объединения, конкретизации, обобщения и разности можно получать новые знания об объекте управления в аварийной обстановке, что даёт возможность принимать более достоверные решения руководителем аварийных работ на шахте по сравнению с известными методами в данной предметной области.

2. Для визуализации аварийных процессов на компьютерах разработаны принципы логико-математического моделирования процессов: управления аварийным распределением воздуха по системе горных выработок, определения маршрутов эвакуации людей и движения горноспасателей с учётом температурных полей и зон загазованности в вентиляционных системах шахт, что позволяет руководителю аварийными работами управлять выбором проходимых маршрутов в реальном масштабе времени.

3. Для перехода с «качественного» уровня управления на «количественный» разработан способ идентификации нечётких импликативных выражений базы знаний системы, состоящей из стохастических данных, посредством нейро-сетевого моделирования, что по сравнению с известными методами повышает скорость и точность вычислений, даёт возможность перехода с «качественного» уровня управления на – «количественный».

ГЛАВА 3

РАЗРАБОТКА ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА ШАХТАХ

3.1. Структура и принципы построения модели

Для принятия обоснованных управленческих решений руководитель аварийных работ помимо знания основных принципов управления оперативными действиями при тушении пожаров на шахтах, должен представлять возможные сценарии развития оперативной обстановки, которые характеризуются причинно-следственными связями, имеющими место в исследуемой предметной области. Поэтому модель ПрО «Система интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах» строится из двух взаимосвязанных по смыслу частей, которые можно назвать, соответственно, предметной и каузальной (от лат. *causal* – причина) онтологией, а именно:

1. Онтология процесса управления оперативными действиями при тушении пожаров на шахтах;

2. Онтология причинно-следственных связей, имеющих место при развитии оперативной обстановки на пожаре;

Онтологические соглашения каузальной онтологии описывают аспекты действительности ПрО, определяющие действия РАР в необходимых онтологических предпосылках. Поэтому в центре каузальной онтологии исследуемой ПрО находятся представления о причинно-следственных связях и процессах, протекающих в условиях оперативной обстановки на пожаре, которые определяют принятие должностными лицами тех или иных управленческих решений.

Поскольку онтология ПрО представляет собой спецификацию некой неизменной части знаний о ПрО независимо от конкретной ситуации, в которой эти знания могут использоваться, и являющуюся результатом консенсуса экспертов ПрО, то логично использовать в качестве правил и ограничений разрабатываемой онтологической модели указания и рекомендации из «Боевого Устава горноспасательной службы» [9].

Онтологическая модель исследуемой области в соответствии с работами [40-43] строится как небогатая система логических соотношений второго порядка. Здесь каждое логическое соотношение имеет содержательное толкование, а вся система логических соотношений есть явное представление концептуализации, понимаемой как множество ситуаций и как множество систем знаний предметной области [36].

3.2. Модель процесса управления оперативными действиями при тушении подземных пожаров

Целью разработки онтологии управления оперативными действиями при тушении пожаров на шахтах является формализация контекстно-независимой части процесса принятия решений, которая впоследствии может дополняться новыми модулями, учитывающими специфику ситуаций, в которых оказывается РАР и другие лица, участвующие в принятии управленческих решений. Центральным звеном онтологии является модуль «Определение оперативных целей». Все остальные части онтологии могут только дополнять данную модель, не внося в уже построенную часть никаких изменений. Так, модуль «Определение оперативных целей» может быть дополнен модулями «Оперативные возможности ГВГСС», «Тушение на объектах повышенной опасности (склады ВВ, ГСМ и т.п.)» и др., сужающими область допустимых ситуаций, в которых оказывается РАР. Чтобы расширить возможности РАР по прогнозированию возможных ситуаций, центральный модуль дополняется модулем логической модели причинно-следственных отношений.

Иерархическая модель онтологии исследуемой ПрО показана на рис 3.1. Модуль «Сущности» является моделью метаонтологии, предназначенной для описания глобальных вспомогательных терминов, которые позволяют конструировать остальные модули иерархии (кроме каузальной онтологии) по единому образцу. Принять решение - это означает прийти к какому-нибудь выводу, к необходимости действий в результате оценки складывающейся на аварии оперативной обстановки. Онтология процессов управления оперативными действиями при тушении пожаров должна охватывать весь спектр терминов и определений, относящихся к процедурам подготовки, принятия и оценки возможных последствий реализации принятых РТП решений.

Исходя из вышеизложенного, можно выделить ряд терминов онтологии процессов управления оперативными действиями при тушении пожаров: ПРОЦЕССЫ, ОПЕРАТИВНЫЕ ДЕЙСТВИЯ, ЦЕЛИ, СИЛЫ И СРЕДСТВА, ОБЪЕКТЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ, ОЧАГИ ПОЖАРА, ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ПОЖАРА и др. Этим терминам даются формализованные определения с учетом их отношений с другими определениями онтологии ПрО. Поэтому все построенные определения онтологии процессов управления оперативными действиями при тушении пожаров на шахтах взаимосвязаны между собой и взаимозависимы.

Для описания онтологической модели ПрО, кроме базовых терминов, используются системы логических соотношений различного порядка.

При разработке формального логического языка и определения базовых терминов, необходимых для построения онтологической модели ПрО «Система интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации пожаров на шахтах», использовались подходы, предложенные в работах [66-70]. Ниже рассматриваются основные положения построенной автором онтологии процесса управления оперативными действиями при тушении пожаров на шахтах [60].



Рис. 3.1. Структура иерархической модели онтологии предметной области «Управление тактическими действиями подразделениями ГВГСС при ликвидации аварий на шахтах»

3.2.1 Сущности знаний модели онтологии «Тактические действия»

[1] Сущность ВСЕ ОБЪЕКТЫ ПрО обозначает все объекты ПрО в модели знаний ОБЪЕКТЫ ПРО \in СУЩНОСТИ ЗНАНИЙ. Экземплярами сущности ВСЕ ОБЪЕКТЫ ПРО являются обозначения всех объектов предметной области χ (ВСЕ ОБЪЕКТЫ ПРО) = $\{\}N$. Подмножествами сущности «ВСЕ ОБЪЕКТЫ ПрО» являются следующие:

«ВСЕ_ОБЪЕКТЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ (ШАХТЫ)» \cup
«ПРОСТРАНСТВО (ТЕРРИТОРИЯ ЗОНЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ)» \cup «ВСЕ
ОБЪЕКТЫ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ» \subseteq «ВСЕ ОБЪЕКТЫ ПрО».
Подмножествами сущности «ВСЕ ОБЪЕКТЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ»
являются следующие объекты: «(ВСЕ ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ)» \cup «
(ВСЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ)» \cup «ВСЁ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ» \cup «ВСЕ ОБЪЕКТЫ ХРАНЕНИЯ ВВ И ЛВЖ»
 \cup
 \cup «ВСЕ ОБЪЕКТЫ НАЗЕМНОГО И ПОДЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА»
«ВСЕ ОБЪЕКТЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ».
«ВСЕ ОБЪЕКТЫ КОММУНИКАЦИИ НА ШАХТЕ» \cup
«ВСЕ ОБЪЕКТЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ШАХТЫ»
.....
... \subseteq «ПРОСТРАНСТВО ЗОНЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ» \cup «ВСЕ ПЕНО - И
ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ» \cup «ВСЕ ОГНЕТУШИТЕЛИ» \cup
.....
«ВСЕ ОБЪЕКТЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ» \subseteq «ВСЕ ОБЪЕКТЫ СРЕДСТВ
ПОЖАРОТУШЕНИЯ»

[2] Сущность ВСЯ ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА И ПТВ обозначает все множество сил и средств, применяемых при тушении пожаров на шахтах: ВСЯ ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА И ПТВ \in СУЩНОСТИ ЗНАНИЙ.

Экземплярами сущности ВСЯ ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА И ПТВ является множество обозначений средств пожаротушения. (ВСЯ ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА И ПТВ) = $\{\}N$. Подмножествами множества ВСЯ ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА И ПТВ являются следующие множества:
«ВСЕ ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ» \cup «ВСЯ СПЕЦ. ТЕХНИКА» \cup
«ВСЕ СРЕДСТВА ПТ» \cup «ВСЕ СИЗОД» \cup
«ВСЕ УСТРОЙСТВА СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ» \cup
«ВСЕ ОГНЕТУШАЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА» \cup «ВСЕ АС ОБОРУДОВАНИЕ» \cup
.....
 \cup «ВСЕ СРЕДСТВА СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ» \subseteq
ВСЯ ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА И ПТВ»

[3] Сущность ВСЕ МЕСТА обозначает все названия мест в модели знаний. ВСЕ МЕСТА \in СУЩНОСТИ ЗНАНИЙ. Экземплярами сущности ВСЕ МЕСТА являются обозначения всех мест в зоне тушения пожара. χ (ВСЕ МЕСТА) = $\{\}N$.

3.2.2. Сущности ситуаций модели онтологии «Оперативные действия»

В онтологической модели «**Оперативные действия**» рассматриваются следующие сущности ситуаций.

Сущности ситуаций модели онтологии «**Оперативные действия**».

Сущность ситуации содержит множество терминов моделируемой предметной области, зависящих только от оперативного времени на пожаре и представляющих собой функцию, которая по моменту наблюдения возвращает множество значений из области допустимых значений данной сущности ситуации. В онтологической модели «Оперативные действия» рассматриваются следующие сущности ситуаций.

[4] Сущность ОПЕРАТИВНАЯ ОБСТАНОВКА, которая обозначает множество процессов и событий, происходящих в течение всей операции по тушению пожара. Оперативная обстановка \in СУЩНОСТИ СИТУАЦИИ, а соответствующий функциональный термин оперативная обстановка отображает момент наблюдения на множество произвольных обозначений ОДЗ (оперативная обстановка) = { } N.

[5] Сущность ВСЕ ПОСТАВЛЕННЫЕ ЦЕЛИ, обозначающую все множество целей, поставленных подразделению в течение процесса тушения пожара. ВСЕ ПОСТАВЛЕННЫЕ ЦЕЛИ \in СУЩНОСТИ СИТУАЦИИ.

Соответственно функциональный термин «ВСЕ ПОСТАВЛЕННЫЕ ЦЕЛИ» отображает момент наблюдения на множество обозначений: ОДЗ (ВСЕ ПОСТАВЛЕННЫЕ ЦЕЛИ) = { } N { СПАСЕНИЕ ЛЮДЕЙ, ЛИКВИДАЦИЯ ГОРЕНИЯ, ЛОКАЛИЗАЦИЯ ГОРЕНИЯ, ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВЗРЫВА, ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ, ПОДАЧА ОВ } \subseteq ОДЗ (все поставленные цели).

[6] Сущность ВСЕ ОПЕРАТИВНЫЕ ДЕЙСТВИЯ, обозначающую все множество действий, совершаемых участниками тушения пожара в течение всего процесса ликвидации аварии. ВСЕ ОПЕРАТИВНЫЕ ДЕЙСТВИЯ \in СУЩНОСТИ СИТУАЦИИ, а функциональный термин ВСЕ ОПЕРАТИВНЫЕ ДЕЙСТВИЯ отображает момент наблюдения на множество произвольных обозначений. ОДЗ (ВСЕ ОПЕРАТИВНЫЕ ДЕЙСТВИЯ) = { } N

3.2.3. Вспомогательные термины

Кроме базовых терминов, в онтологической модели определен ряд вспомогательных функциональных терминов, таких как:

[7] Функция привлеченные силы и средства, которая обозначает количество сил и средств, привлеченных в данный момент для тушения пожара привлеченные силы и средства \equiv (λ [t: I]. число моментов), (U (r: все отделения (t)) (\times личный состав (r, t)), средства ПТ_ПТВ (r, t))). Примем свойство уровня для этих целей равным 1.

[8] (t [1. число моментов]), (v: все поставленные цели (t) v \in {СПАСЕНИЕ ЛЮДЕЙ, ЛИКВИДАЦИЯ ГОРЕНИЯ, ЛОКАЛИЗАЦИЯ ГОРЕНИЯ, ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВЗРЫВА, ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ} \Rightarrow УРОВЕНЬ (v) = 1.

[9] Свойство целей - приоритет определяет порядок оперативных действий при тушении пожара. В первую очередь силы и средства сосредотачиваются в достаточном количестве для решения той боевой задачи, приоритет которой в данный момент времени равен 1.

3.2.4. Онтологические соглашения

Онтологические соглашения - это явно сформулированные соглашения об ограничениях на смысл терминов, в которых описывается ПрО. Иначе говоря, онтологические соглашения представляются множеством ограничений на интерпретацию имен в модели онтологии ПрО [71-75].

Некоторые из продукций статических знаний в виде импликативных соотношений данной предметной области из «Боевого устава ГВГСС...» выглядят ниже следующим образом.

[10] Фактическое количество сил и средств - считается больше количества, требующегося для достижения некоторой поставленной цели, если каждый элемент множества факт. количество сил и средств больше аналогичного элемента множества треб. количество сил и средств. (t: IГ1, число моментов], (v: все поставленные цели (t)), (n: факт. количество сил и средств (v)), (m: треб. количество сил и средств (v)) (U i (i: I[1, μ (n(v, t))]) ((l(j: I[1, μ (m(v, t))]) (π(1, el(i, n(v, t))) = π(1, el(j, m(v, t)))) ⇒ / (V (i: I[1, μ (n(v, t))]) (π(2, el(i, n(v, t)))) < π(2, el(i, m(v, t)))) ⇒ n(v, t) < m(v, t), (& (i: I[1, μ (n(v, t))]) (π(2, el(i, n(v, t))) > π(2, el(i, m(v, t)))) ⇒ n(v, t) > m(v, t), (& (i: I[1, μ (n(v, t))]) (π(2, el(i, n(v, t))) = π(2, el(i, m(v, t)))) ⇒ n(v, t) > m(v, t)/)).

[11] Если требуется спасение людей, приоритет основной цели спасение равен 1. Если необходимо предотвратить взрыв, а спасение людей не требуется, приоритет основной цели предотвращение взрыва равен 1. Если не требуется предотвращать взрыв и спасать людей, и сил и средств достаточно для локализации и ликвидации пожара приоритет основной цели ликвидация горения равен 1. Если не требуется предотвращать взрыв и спасать людей, сил и средств недостаточно для локализации и ликвидации пожара приоритет основной цели защита объектов равен 1. Если горением охвачен объект, который не представляет собой ценность, и создалась угроза, близко находящемуся объекту, то приоритет основной цели равен единице.

« (t :I [1, число моментов], (f: все очаги пожара (t)), (v: все поставленные цели (t)), спасение людей ∈ v(t) ⇒ приоритет (спасение людей) =1, спасение людей ∉ v(t) & (V (ff: f) (взрыв ∈ ОФП(ff(t)))) ⇒ предотвращение взрыва ∈ v(t) & приоритет (предотвращение проявлений ОФП) =1, ликвидация горения ∈ v(t) & (предотвращение проявлений ОФП) =1 ∉ v(t) & (факт. количество сил и средств (t, ликвидация горения) ≥ требуемого количества сил (t, ликвидация горения) ⇒ приоритет (ликвидация горения) =1, (ликвидация горения ∈ v(t) & предотвращение проявлений ОФП ∉ v(t) & факт. количество сил и средств (t,

ликвидация горения) \leq требуемого количества сил и средств (t, ликвидация горения)) \vee ({ликвидация горения, предотвращение проявлений ОФП } \cap $v(t) = \emptyset$) \Rightarrow приоритет (защита объектов) = 1.

[12] Если опасные факторы пожара угрожают жизни людей и их спасение невозможно без использования технических средств, введения огнетушащих средств. Имеется угроза распространения огня и дыма по путям эвакуации, **то** предусматривается применение опасных для жизни людей огнетушащих веществ и составов. Силы и средства сосредотачиваются и вводятся для обеспечения спасательных работ:

(t: I[], число моментов-1]), (v: все поставленные цели (t)), (e: люди на объекте(t)), (f: все очаги пожара (t')), (r: все отделения (t)) количество (e,t) >0 & ((V(ff:f) ((взрыв \in ОФП (ff, t) & вероятность проявления (ОФП (ff, t) = высокая & места проявления (ОФП(ff, t)) \cap местонахождение (e, t) $\neq \emptyset$ & возможность самостоятельной эвакуации (e, t) = (r,t) \vee ({сильное задымление, распространение горения}) \subseteq ОФП(ff, t) & места проявления(ОФП (ff, t)) \cap пути эвакуации (e, t) $\neq \emptyset$) \vee (подача ПТВ v(t) & местонахождение (e, t) \cap (пути эвакуации, (e, t) \cup тактические позиции (t, подача ПТВ)) $\neq \emptyset$ & используемые ОГВ, (t' , подача ОГВ) \subseteq средства ПТ и ПТВ (r, t) & опасность для жизни (используемые ОГВ (t, ...)) = ...) \Rightarrow спасение людей $\in v(t)$.

[13] ЕСЛИ ПТ и ПТВ недостаточно для успешного выполнения оперативной задачи, **ТО** организуется их доставка к месту пожара по загазованным выработкам подразделениями ГВГСС, по выработкам со свежим воздухом – членами ВГК и горнорабочими.

(t: I[], число моментов]), (v : все поставленные цели(t)) (V (v': v) фактическое количество ПТ и ПТВ (v',t) \leq необходимое количество ПТ и ПТВ(v',t) \Rightarrow доставка ПТ и ПТВ $\in v(t)$ (по загазованным выработкам подразделениями ГВГСС, по выработкам со свежим воздухом – членами ВГК и горнорабочими).

Структура знания для всех причинно-следственных связей модели во многом сходна. Она характеризуется наличием причины, следствия, воздействующих факторов, модальностью и описанием причинной закономерности. Факторами, влияющими на выбор того или иного варианта причинно-следственной связи в качестве варианта, определяющего значение признака в определенном интервале времени, время возникновения того или иного события или процесса, являются тип причинно-следственной связи (приоритет определяется функцией ПРИОРИТЕТ), условная вероятность (функции ВЕРОЯТНОСТЬ и ВЕРОЯТНОСТЬ 1).

Вероятность названа условной поскольку определяющая ее функция является эвристической и используется для выбора наиболее предпочтительного варианта причинно-следственных связей среди других (автоматически или с участием ЛПР). Функция, определяющая условную вероятность, учитывает:

- а) тип причинно-следственной связи;
- б) количество раз, когда вариант причинно-следственной связи (прецедент), принадлежащий множеству возможных вариантов, адекватно описывал причинную связь в действительности;
- в) количество раз, когда вариант причинно-следственной связи (прецедент) принадлежал множеству возможных вариантов;
- г) некоторую степень достоверности критерия, который учитывает параметры, указанные в б) и в). Чем больше параметр, указанный в б), тем больше степень достоверности критерия.

Некоторые причинно-следственные связи приведены ниже.

А. «Если причинно-следственная связь b , для которой определен вариант j , имеет модальность = необходимость, то условная вероятность для этого варианта равна M_i :

МОДАЛЬНОСТЬ(b) = необходимость & $b \in$ проявление процесса \cup осложнение \cup следствие процесса \cup воздействие подразделения ГВГСС 1 \cup этиология процесса \cup связь события \cup реакция на изменение атрибута \cup воздействие подразделения ГВГСС 1 & $j \in$ множество возможных вариантов (b).

Функция двух аргументов R является функцией нестрогого частичного порядка, если она обладает следующими свойствами:

$R(x, y) \in \{-1, 0, 1\}$; $R(x, y) = 0 \rightarrow R(y, x) = 0$; $R(x, y) = 0$; $R(x, y) = 1 \ \& \ R(y, z) = 1 \rightarrow R(x, z) = 1$; $R(x, y) = 0 \ \& \ R(y, z) = 1 \rightarrow R(x, z) = 1$; $R(x, y) = 1 \ \& \ R(y, z) = 0 \rightarrow R(x, z) = 1$; $R(x, y) = -1 \ \& \ R(y, z) = -1 \rightarrow R(x, z) = -1$; $R(x, y) = 0 \ \& \ R(y, z) = -1 \rightarrow R(x, z) = -1$; $R(x, y) = -1 \ \& \ R(y, z) = 0 \rightarrow R(x, z) = -1$; $R(x, y) = 0 \ \& \ R(y, z) = 0 \rightarrow R(x, z) = 0$ ».

В. «Если некоторый процесс входит в описание оперативной обстановки, то в модели действительности (базе данных) с этим процессом связано разбиение оси времени такое, что количество интервалов в этом разбиении равно количеству периодов динамики данного процесса. Начало первого периода динамики процесса совпадает с началом процесса, а длительность каждого интервала разбиения находится между нижней и верхней границами длительности этого периода динамики, определенными в базе знаний».

$P \in$ процесс & ПЕРИОДЫ ДИНАМИКИ(P) = $P1 \ \& \ LENGTH(P1) = W \ \& \ \sigma =$ РАЗБИЕНИЕ 1(P) \rightarrow LOWER BOUND(σ , 1) = НАЧАЛО(P) & INTERVALSNUMBER(σ) = $W \ \& \ ((UPPER \ BOUND(\sigma, k) - LOWERBOUND(\sigma, k)) \subseteq [LOWER \ BOUND(ELEMENT(P1, k)), UPPER \ BOUND(ELEMENT(P1, k))])$.

3.3 Логико-математическая модель причинно-следственных отношений, влияющих на выбор управленческих решений при ликвидации аварий на шахтах

Объектом онтологического моделирования в данном разделе являются причинно-следственные связи, связанные с ликвидацией аварий на различных объектах, т.е. те концептуальные представления о причинно-следственных связях, которые существенны при решении тактических задач и нахождению выхода из проблемных ситуаций. Математическая модель взаимодействия причинно-следственных отношений различных типов для предметной области «Система интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах» построена в виде системы логических соотношений второго порядка [46,47].

3.3.1 Основные принципы построения модели проблемной области

Описание построенной онтологической модели выполняется следующим образом. Рассматриваются концептуальные представления ПрО, положенные в основу построения онтологической модели и соглашения об условных обозначениях. Далее вводится система сортов, неизвестные параметры и параметры модели онтологии, вспомогательные функции и предикаты, ограничения целостности неизвестных и параметров, а также соотношения между неизвестными и параметрами онтологии. Описываются различные виды шкал, используемые для представления объектов и констант предметной области.

Действительность моделируемой части исследуемой ПрО представляет собой множество ситуаций, каждая из которых есть информация на определенный момент времени об изменении оперативной обстановки на аварии (временной отрезок может включать прошлое, настоящее и будущее). Эта информация связана с решением общей задачи планирования оперативных действий при ликвидации аварий на шахте [76-79].

Характеристики, описывающие оперативную обстановку на аварии, условно разделяются на внешние по отношению к системе управления (наблюдения и мониторинга) и внутренние, которые являются предметом планирования.

Основным типом связей, характеризующими ситуацию на аварии, являются причинно-следственные связи (ПСС) между рассмотренными выше понятиями. Целенаправленный подход к построению онтологической модели для причинно-следственных отношений предполагает рассмотрение пары объектов: «решающая система (внутренние процессы) - оперативная обстановка (внешние наблюдения (мониторинг))». Эта пара понятий (объектов) влияет на выбор управленческих решений при ликвидации аварий.

Оперативная обстановка на аварии характеризуется признаками (атрибутами объектов ПрО), событиями, процессами, обобщениями.

Решающая система характеризуется действиями участников ликвидации аварии.

Причинно-следственные связи в логической модели процесса ликвидации аварии показаны на рис. 3.2. Каждая причинно-следственная связь имеет причину, следствие и развивается во времени в соответствии с одним из возможных вариантов закономерности своего развития. Причинно-следственная связь также определяется значениями воздействующих факторов и, возможно, причинами её вызвавших. Типы причинно-следственных связей, представлены в табл. 3.1.

В роли воздействующих факторов и необходимых условий выступают атрибуты, обобщения, процессы и действия подразделений ГВГСС.

Значения признака могут изменяться в результате одновременного воздействия на него нескольких различных причин. Предполагается, что весь промежуток времени наблюдения каждого признака может быть разделен на периоды, на каждом из которых значения признака являются следствием только одной причинно-следственной связи из всех возможных. Между различными типами причинно-следственных связей устанавливается частичный порядок, который рассматривается в разделе «вспомогательные функции и предикаты».

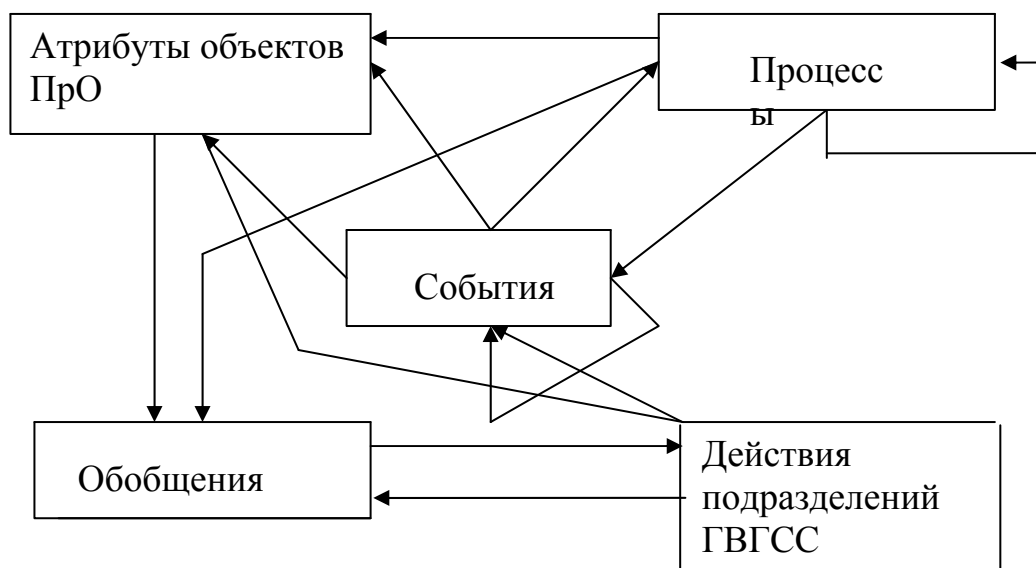


Рис.3.2. Причинно-следственные связи в логико-математической модели процесса ликвидации аварии

3.3.2. Базовые понятия и определения

Для построения математической модели причинно-следственных отношений, влияющих на выбор управленческих решений при ликвидации аварий пожаров, вводится ряд базовых понятий:

Таблица 3.1.

Некоторые типы причинно – следственных связей в логической модели процесса ликвидации аварии

Причинно-следственные связи	Обозначение	Условное название	Описание	Примеры вариантов ПСС
атрибут → значение	NS	Норма	Заключение - условная вероятность нахождения признака в определенном интервале значений.	Нормальная температура в горных выработках (10 - 30) °С
событие → процесс	EP	Следствие процесса	Заключение - условная вероятность наступления процесса в определенный момент времени, определяется модальность.	Воспламенение горных выработок продуктами сторания задымления
событие 1 → событие 2	EE	Связь событий	Заключение - условная вероятность наступления 2-го события в определенный момент времени, определяется модальность.	Взрыв газа → обрушение крепления, кровли горной выработки
событие → атрибут	ES	Реакция на событие	Заключение - условная вероятность нахождения признака в определенный момент времени.	Воспламенение горючих материалов → увеличение площади пожара
атрибуты → событие	SE	Реакция на изменение атрибутов	Заключение - условная вероятность наступления события в определенный момент времени, определяется модальность.	Образование взрывоопасной концентрации веществ → взрыв
процесс 1 → процесс 2	PP	Осложнение	Описание периодов динамики. Заключение — условная вероятность наступления 2-го процесса в определенный момент времени. Модальность.	Горение в выработке 1 → Горение в выработке N
процесс → событие	PE	Следствие процесса	Описание периодов динамики. Заключение - условная вероятность наступления события в определенный момент времени. Модальность.	Горение в выработке → проникновение продуктов горения на верхние горизонты
процесс → атрибуты	PS	Проявление процесса	Периоды развития. Заключение - условная вероятность нахождения признака в определенном интервале.	Распространения горения деревянной крепи → повышение температуры
обобщения → действия подр. ГВГСС	AD	Вариант действий	Определяется модальность	Возникла угроза обрушения кровли, конструкцией → передислокация опер. участков
действия подр. ГВГСС → атрибуты	DS	Воздействие подразделения ГВГСС 1	Заключение - условная вероятность нахождения признака в определенном интервале.	Подача огнетушащих веществ → изменение параметров пожара (площади, скорости распространения, т.п.)
действия подр. ГВГСС → события	DE	Воздействие подразделения ГВГСС №...	Заключение - условная вероятность наступления события в определенный момент времени. Модальность.	Подача пены, воды → взрыв
процесс, атрибуты, действия подр. ГВГСС → обобщения	AG	Вывод обобщений	Причина-совокупность условий.	Горение токсичных веществ → невозможность тушения без индивидуальных средств защиты

[14] Признаки – это атрибуты объектов ПрО. Они определяются значениями λ_s , которые могут изменяться во времени. Для каждого признака S может быть задано множество моментов времени $v_s = \{\mu_{s1}, \mu_{s2}, \dots, \mu_{sn}\}$ его наблюдения, причем $S(\mu_{si}) = \lambda_{si}, i \in [1, N]$. При этом должны быть заданы моменты времени, соответствующие началу и концу наблюдения признака – НАЧАЛО (S) = t_s^1 , КОНЕЦ(S) = t_s^2 .

[15] События (например, взрыв, выброс угля или породы и т.п.), наблюдаемые в процессе ликвидации аварии и влияющие на изменение оперативной обстановки, кроме своего имени могут описываться совокупностью параметров. Для каждого события E может быть задан момент времени $v_e = \mu_e$ его наступления.

[16] Процессы (например, горение, выделение дыма или газа, нагревание и т.п.), протекающие на аварии, определяют изменения признаков, характеризующих объекты ПрО. Общими параметрами для всех процессов являются длительность и периоды развития. Для каждого процесса P задается множество периодов времени $\pi_p = \{\eta_{p1}, \eta_{p2}, \dots, \eta_{pn}\}$ его наблюдения, а также моменты времени, соответствующие началу и концу наблюдения процесса – НАЧАЛО (P) = t_p^1 КОНЕЦ (P) = t_p^2 .

[17] Обобщения (например, необходимость эвакуации людей, возможность локализации очага и т.п.) – понятия, характеризующие складывающуюся ситуацию и определяющие возможные цели для участников ликвидации аварии. Обобщения фиксируют определенный аспект состояния оперативной обстановки, сложившейся в некоторый период времени. Также как и для признаков, для каждого обобщения A задается множество моментов времени $\Phi_a = \{\theta_{a1}, \theta_{a2}, \dots, \theta_{an}\}$ его наблюдения, причем $A(\mu_{ai}) = \lambda_{ai}, i \in [1, N]$.

[18] Действия привлеченных к ликвидации аварии горноспасательных подразделений (ГВГСС).

Все перечисленные выше характеристики связываются с определенными объектами ПрО (например, объект ликвидации аварии, отдельные горные выработки или объекты на её территории, внешняя среда, средства ликвидации аварии и пр.).

Знания о развитии оперативной обстановки при тушении пожаров на шахтах

Знания о развитии оперативной обстановки представляются совокупностью следующих знаний:

1. Знания о действиях ГВГСС, которые помимо названий действий содержат интервалы возможных длительностей их совершения, параметры и области их возможных значений;

2. Знания о наблюдениях, состоящие из знаний: i – знаний о событиях, включающих названия событий, их параметры и области их возможных значений; ii – знаний о процессах, содержащие названия процессов, интервалы возможных длительностей их совершения, параметры и области их возможных значений; iii – знания о признаках (атрибутах объектов ПрО), которые

представляют собой области их возможных значений; *iv* – знания об обобщениях, которые содержат области их возможных значений.

3. Знания о причинно-следственных связях.

Знания о причинно-следственных связях представляются в виде соответствующих описаний. Пример описания этиологии процесса описан ниже:

[19] Этиология процесса, которая включает ссылки на причину-событие, следствие-процесс, воздействующие факторы; описание модальности («необходимость» или «возможность») и описание причинной закономерности.

Примечание. Модальность «необходимость» означает, что если в данный момент времени имеет место причина, то обязательно имеет место причинно-следственная связь. Модальность «возможность» означает, что причина не обязательно приводит к причинно-следственной связи. Причинная закономерность любого причинно-следственного отношения есть дизъюнкция вариантов. Посылка импликации выполнена, если значения всех воздействующих факторов, перечисленных в условии на воздействующие факторы, входят в подобласти значений, определяемые этим условием.

Структура знания для всех причинно-следственных связей модели во многом сходна. Она характеризуется наличием причины, следствия, воздействующих факторов, модальностью и описанием причинной закономерности.

Необходимое условие есть конъюнкция компонент, каждая из которых есть ссылка на некоторую особенность оперативной обстановки и подмножество возможных значений этой особенности.

Сорта, используемые при построении онтологической модели причинно-следственных связей «связь событий»

Сорт - множество объектов с общими правилами манипулирования ими. В онтологической модели причинно-следственных отношений рассматриваются сорта модели действительности и сорта модели знания, а также сорта, соответствующие друг другу в модели действительности и модели знания.

Сорта, соответствующие друг другу в модели действительности (базе данных) и модели знания (базе знаний) трактуются и как некоторое множество имен или обозначений объектов действительности, и как некоторое множество имен или обозначений понятий рассматриваемой ПрО.

Сорт модели действительности всегда есть некоторое подмножество соответствующего ему сорта в модели знания. Соответствующие сорта имеют одинаковые названия.

Вспомогательные функции и предикаты

Для оценки условной вероятности вариантов причинно-следственных связей различных типов в онтологической модели вводятся следующие вспомогательные функции и предикаты:

[20] Функция A , определяемая для любого причинно-следственного отношения b как:

$$A = \frac{2}{3} \left(\frac{N_p}{N_v} + \frac{1}{2} \sqrt{1 - \frac{1}{N_p}} \right), \quad (3.1)$$

где N_p - ЧИСЛО ЭЛЕМЕНТОВ (множество возможных вариантов(b));

N_v - ЧИСЛО ЭЛЕМЕНТОВ $j_i \in$ множество возможных вариантов(b) | (

$\forall_{jk} \succ$, ОСНОВАНИЕ ЗАКЛЮЧЕНИЯ (j_i) = ОСНОВАНИЕ ЗАКЛЮЧЕНИЯ.

[21] Функция M_b , аргументом которой является объект сорта момент времени

x_t : $M_t = A e^{-\frac{9(x-t_c)^2}{2t_c^2}}$, где t_c – объект сорта момент времени, равен длительности интервала времени между причиной и следствием, для варианта причинно-следственной связи j .

[22] Условная вероятность для j варианта причинно-следственных связей различных типов имеет вид:

$b \in$ реакция на событие \cup норма \cup вариант действий & $j \in$ множество возможных вариантов(b) \rightarrow ВЕРОЯТНОСТЬ(0) = A.

[23] Если причинно-следственная связь b , для которой определен вариант j , имеет модальность = возможность, то условная вероятность для этого варианта равна M_i : МОДАЛЬНОСТЬ (b) = [возможность & $b \in$ проявление процесса \cup осложнение \cup следствие процесса \cup воздействие ГВГСС 1 \cup этиология процесса \cup связь событий \cup реакция на изменение атрибута \cup воздействие ГВГСС N & ...] \in множество возможных вариантов (b) \rightarrow ВЕРОЯТНОСТЬ 1(j, x_t) = M_i , где x_t - объект сорта момент времени, соответствующий времени с начала варианта причинно-следственной связи $j \in$ множество возможных вариантов (b).

[24] Если причинно-следственная связь b , для которой определен вариант j , имеет модальность = необходимость, то условная вероятность для этого варианта равна M_i : МОДАЛЬНОСТЬ (b) = необходимость & $b \in$ проявление процесса \cup осложнение \cup следствие процесса \cup воздействие отделения ГВГСС 1 \cup этиология процесса \cup связь события \cup реакция на изменение атрибута \cup воздействие отделения ГВГСС N & $j \in$ множество возможных вариантов (b)

$$(b) \rightarrow \text{ВЕРОЯТНОСТЬ}(j, x_t) = \left\{ \begin{array}{l} M_i, \text{ если } t_0 < x_t < t_c \\ M_i + (1-A)e^{-\frac{9(x-t_j-t_c)^2}{2(t_c-t_n)^2}}, \text{ если } \\ -t_c < x_t < t_n \end{array} \right\} \quad (3.2)$$

где t_n - объект сорта момент времени, соответствующий верхней границе длительности последнего периода динамики варианта j , определенного в базе знаний.

[25] Функция двух аргументов R является функцией нестрогого частичного порядка, если она обладает следующими свойствами:

$R(x,y) \in \{-1,0,1\}, R(x,y)=0 \rightarrow R(y,x)=0; R(x,y) = 0, R(x,y) = 1 \ \& \ R(y, z) = 1 \rightarrow R(x, z) = 1, R(x,y) = 0 \ \& \ R(y, z) = 1 \rightarrow R(x, z) = 1, R(x,y) = 1 \ \& \ R(y, z) = 0 \rightarrow R(x, z) = 1, R(x,y) = -1 \ \& \ R(y, z) = -1 \rightarrow R(x, z) = -1, R(x, y) = 0 \ \& \ R(y, z) = -1 \rightarrow R(x, z) = -1, R(x, y) = -1 \ \& \ R(y, z) = 0 \rightarrow R(x, z) = -1, R(x, y) = 0 \ \& \ R(y, z) = 0 \rightarrow R(x, z) = 0.$

[26] Вводится функция SUPREMUM (M, R) - верхнюю грань конечного множества M по отношению к функции нестрогого частичного порядка \rightarrow следующим образом:

$$\text{SUPREMUM}(M, R) = \{m \in M \mid \forall m'(m' \rightarrow M \rightarrow R(m', m) > 0)\}.$$

Из выше изложенного следует, что для любого конечного множества M и функции нестрогого частичного порядка R на нем $\text{SUPREMUM}(M, R) \neq 0$.

[27] Определяется функция двух аргументов ПРИОРИТЕТ ($B1, B2$) следующим образом. Для причинно-следственных отношений $B1$ и $B2$ эта функция будет возвращать одно из трех значений:

-1 - (если причинно-следственное отношение $B1$ имеет приоритет больший, чем причинно-следственное отношение $B2$),

0 -(если $B1$ и $B2$ имеют одинаковый приоритет),

1 - (если причинно-следственное отношение $B1$ имеет меньший приоритет, чем $B2$).

[28] Пусть $B1$ и $B2$ - причинно-следственные отношения, следствиями которых является один и тот же признак S , т.е. имеет место:

$S \in$ признак $\ \& \ B1 \in$ причинно-следственное отношение $\ \& \ B2 \in$ причинно-следственное отношение $\ \& \ \text{СЛЕДСТВИЕ}(B1) = S \ \& \ \text{СЛЕДСТВИЕ}(B2) = S.$

Тогда значения функции ПРИОРИТЕТ ($B1, B2$) зависят от того, каким множествам принадлежат $B1$ и $B2$. Из выше изложенного следует, что внутри области определения функция ПРИОРИТЕТ ($B1, B2$) обладает свойствами функции нестрогого частичного порядка.

[29] Пусть $B1$ и $B2$ - причинно-следственные отношения, следствиями которых является один и тот же процесс P , т.е. имеет место:

$S \in$ признак $\ \& \ B1 \in$ причинно-следственное отношение $\ \& \ B2 \in$ причинно-следственное отношение $\ \& \ \text{СЛЕДСТВИЕ}(B1) = P \ \& \ \text{СЛЕДСТВИЕ}(B2) = P.$

[30] Пусть $B1$ и $B2$ – причинно-следственные отношения, следствиями которых является одно и то же событие E , т.е. имеет место: $S \in$ признак $\ \& \ B1 \in$ причинно-следственное отношение $\ \& \ B2 \in$ причинно-следственное отношение $\ \& \ \text{СЛЕДСТВИЕ}(B1) = E \ \& \ \text{СЛЕДСТВИЕ}(B2) = E.$

Обозначения внутри таблицы: A – связь событий: $A = \{b \in \text{связь событий}\};$
 B - реакция на изменение атрибутов:

$B = \{b \in \text{реакция на изменение атрибутов}\};$ C - следствие процесса:

$C = \{b \in \text{следствие процесса}\};$ D - воздействие отделения ГВГСС 1:

$D = \{b \in \text{воздействие отделения ГВГСС } N\}.$

[31] Для причинно-следственных связей $b1$ и $b2$ определяется функция двух аргументов ПРИОРИТЕТ($b1, b2$) так, чтобы ее значения были равны значениям функции ПРИОРИТЕТ ($B1, B2$) для причинно-следственных

отношений $V1$ и $V2$, которым соответствуют причинно-следственные связи $b1$ и $b2$ соответственно. Будем считать, что имеет место соответствие некоторой причинно-следственной связи b некоторому причинно-следственному отношению V , если вариант причинно-следственной связи b входит в множество вариантов причинной закономерности причинно-следственного отношения $V: \{V1, V2\}$ с причинно-следственное отношение $\& \{b1, b2\} \in$ причинно-следственная связь $\&$ ВАРИАНТЫ) \in ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ 2($V1$) $\&$ ВАРИАНТ $b2$) \in ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ 2($V2$) \rightarrow ПРИОРИТЕТА($b1, b2$) = ПРИОРИТЕТ ($V1, V2$);

Из выше изложенного следует, что внутри области определения функция ПРИОРИТЕТ($b1, b2$), как и функция ПРИОРИТЕТ($V1, V2$), обладает свойствами функции нестрогого частичного порядка.

[32] Определим функцию двух аргументов: ПРИОРИТЕТ 1 ($b1, b2$) следующим образом. Для причинно-следственных связей $b1$ и $b2$ эта функция будет возвращать одно из трех значений: -1 (если причинно-следственная связь $b1$ имеет приоритет больший, чем причинно-следственная связь $b2$), 0 (если $b1$ и $b2$ имеют одинаковый приоритет), 1 (если причинно-следственная связь $b1$ имеет меньший приоритет, чем $b2$).

[33] Пусть $b1$ и $b2$ - причинно-следственные связи, соответствующие причинно-следственным отношениям $b1$ и $b2$, имеющие одно следствие. Тогда функция ПРИОРИТЕТ 1($b1, b2$) определяется следующим образом. Зададим предикат "ОБЩАЯ ЧАСТЬ" формулой:

ОБЩАЯ ЧАСТЬ($b1, b2$) $\leftrightarrow \{b1, b2\} \in$ причинно-следственная связь $\&$ ВАРИАНТ($b1$) \in ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ 2($V1$) $\&$ ВАРИАНТ($b2$) \in ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ 2($V2$) $\&$ СЛЕДСТВИЕ ($V1$) = СЛЕДСТВИЕ($V2$) $\&$ ПРИОРИТЕТ($b1, b2$) = 0.

ОБЩАЯ ЧАСТЬ 1($b1, b2$) $\leftrightarrow \{b1, b2\}$ причинно-следственная связь $\&$ ВАРИАНТ($V1$) \in ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ 2($V1$) $\&$ ВАРИАНТ($V2$) \in ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ 2 ($V2$) $\&$ СЛЕДСТВИЕ ($V1$) = СЛЕДСТВИЕ ($V2$) $\&$ ПРИОРИТЕТ($b1, b2$) \neq 0.

[34] Для причинно-следственных связей, соответствующих причинно-следственным отношениям, имеющим одно и то же следствие, приоритет определяется с учетом вычисленной условной вероятности, а также типа причинно-следственных отношений:

ОБЩАЯ ЧАСТЬ 1($b1, b2$) $\& \{b1, b2\} \in$ проявление процесса \cup осложнение \cup следствие процесса \cup воздействие ГВГСС 1 \cup этиология процесса \cup следствие события \cup реакция на изменение атрибута \cup воздействие отделения ГВГСС N $\& \{m_1, m_2\} \in$ момент времени $\&$ ВЕРОЯТНОСТЬ 1(m_1, b_1) $>$ ВЕРОЯТНОСТЬ 1(m_2, b_2) \rightarrow ПРИОРИТЕТ 1($b1, b2$) = -1 $\&$ ПРИОРИТЕТ 1($b2, b1$) = 1;

ОБЩАЯ ЧАСТЬ ($b1, b2$) $\& \{b1, b2\} \in$ реакция на событие \cup норма \cup вариант действий $\&$ ВЕРОЯТНОСТЬ($b1$) $>$ ВЕРОЯТНОСТЬ($b2$) \rightarrow ПРИОРИТЕТ 1 ($b1, b2$) = -1 $\&$ ПРИОРИТЕТ 1 ($b2, b1$) = 1;

ОБЩАЯ ЧАСТЬ 1 (b1, b2) → ПРИОРИТЕТ 1(b1, b2) = ПРИОРИТЕТ(b1, b2);

Из выше изложенного следует, что функция ПРИОРИТЕТ 1(b1,b2) обладает свойствами функции нестрогого частичного порядка.

[35] Введем предикат "ВЫПОЛНЕНО", аргументом которого является объект сорта множество компонент (необходимого условия или условия на воздействующие факторы): ВЫПОЛНЕНО (x) ↔ & (АТТРИБУТ (y) ∈ ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНИЙ (y)).

3.3.3 Онтологические соглашения модели

Ограничения целостности неизвестных и параметров

В данном разделе описываются ограничения целостности значений неизвестных параметров и параметров модели, а также соотношения между ними. При этом будет применяться «сквозная» нумерация соотношений.

Ограничения целостности значений неизвестных параметров модели.

[36] Разным признакам соответствуют разные причинно-следственные связи нормы:

$S1 \in \text{признак} \ \& \ S2 \in \text{признак} \ \& \ S1 \neq S2 \rightarrow \text{НОРМА} (S1) \neq \text{НОРМА} (S2).$

[37] Разным признакам, событиям, объектам ПрО или разным моментам времени, в которые произошло одно и то же событие, соответствуют разные причинно-следственные связи реакции на событие:

$\{S1, S2\} \in \text{признак} \ \& \ \{E1, E2\} \in \text{событие} \ \& \ \{O1, O2, O3, O4\} \in \text{объект ПрО} \ \& \ \{t1, t2\} \in \text{момент времени} \ \& \ (S1 \neq S2 \vee E1 \neq E2 \vee O1 \neq O3 \vee O2 \neq O4 \vee t1 \neq t2) \rightarrow \text{РНС} (E1, S1, O1, O2, t1) \neq \text{РНС} (E2, S2, O3, O4, t2).$

[38] Разным событиям, процессам, объектам ПрО или разным моментам времени, в которые произошел один и тот же процесс, соответствуют разные причинно-следственные связи этиологии процесса:

$\{E1, E2\} \in \text{событие} \ \& \ \{P1, P2\} \in \text{процесс} \ \& \ \{O1, O2, O3, O4\} \in \text{объект ПрО} \ \& \ \{t1, t2\} \in \text{момент времени} \ \& \ (P1 \neq P2 \vee E1 \neq E2 \vee O1 \neq O3 \vee O2 \neq O4 \vee t1 \neq t2) \rightarrow \text{ЭТИОЛОГИЯ ПРОЦЕССА}(E2, P1, O1, O2, t1) \neq \text{ЭТИОЛОГИЯ ПРОЦЕССА} (E2, P2, O3, O4, t2).$

[39] Разным процессам, разным периодам динамики процесса-причины или же разным моментам времени соответствуют разные причинно-следственные связи осложнений:

$\{P1, P2, P3, P4\} \in \text{процесс} \ \& \ \{O1, O2, O3, O4\} \in \text{объект ПрО} \ \& \ i1 \in [1, \text{LENGTH} (\text{ПЕРИОДЫ РАЗВИТИЯ} (P1))] \ \& \ i2 \in [1, \text{LENGTH} (\text{ПЕРИОДЫ РАЗВИТИЯ} (P3))] \ \& \ (P1 \neq P3 \vee P2 \neq P4 \vee i1 \neq i2) \rightarrow \text{ОСЛОЖНЕНИЕ} (P1, P2, O1, O2, i1) \neq \text{ОСЛОЖНЕНИЕ} (P3, P4, O3, O4, i2).$

[40] Момент начала наблюдения некоторого признака должен быть раньше момента окончания его наблюдения: $S \in \text{признак} - \text{НАЧАЛО}(S) < \text{КОНЕЦ}(S).$

Ограничения целостности значений параметров модели

[41] Для нормы, реакции на событие, проявления процесса и воздействия ПП 1, область значений следствия должна быть подобластью области возможных значений признака, который является следствием для этих причинно-следственных связей:

$S \in \text{признак} \ \& \ \text{НОРМА}(S) = b \ \& \ j \in \text{ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ } 2(b) \rightarrow \text{ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНИЙ СЛЕДСТВИЯ } (j) \subset \text{ОБЛАСТЬ ВОЗМОЖНЫХ ЗНАЧЕНИЙ}(S);$

$E \in \text{событие} \ \& \ S \in \text{признак} \ \& \ b \in \text{PHC}(S, E, \text{soar}) \ \& \ j \in \text{ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ } (b) - \text{ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНИЙ СЛЕДСТВИЯ}(j) \subset \text{ОБЛАСТЬ ВОЗМОЖНЫХ ЗНАЧЕНИЙ}(S);$

$P \in \text{процесс} \ \& \ S \in \text{признак} \ \& \ \text{ПЕРИОДЫ ДИНАМИКИ } (P) = P1 \ \& \ b \in \text{ПРОЯВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА}(D, S, \text{sort}) \ \& \ k \in [1, \text{LENGTH}(P1)] \ \& \ j \in \text{ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ } 1(k, b) - \text{ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНИЙ СЛЕДСТВИЯ}(j) \subseteq \text{ОБЛАСТЬ ВОЗМОЖНЫХ ЗНАЧЕНИЙ}(\text{СЛЕДСТВИЕ}(b));$

$D - \text{действие ГВГСС} \ \& \ S \in \text{признак} \ \& \ \text{ПЕРИОДЫ ДИНАМИКИ } (D) = P1 \ \& \ b \in \text{ВОЗДЕЙСТВИЕ ГВГСС } (D, S, \text{sort}) \ \& \ k \in [1, \text{LENGTH}(P1)] \ \& \ j \in \text{ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ } 1(k, b) \rightarrow \text{ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНИЙ СЛЕДСТВИЯ } (j) \rightarrow \text{ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНИЙ СЛЕДСТВИЯ } (j) \subset \text{ОБЛАСТЬ ВОЗМОЖНЫХ ЗНАЧЕНИЙ}(S).$

[42] Для каждого варианта причинной закономерности любого причинно-следственного отношения атрибут компоненты «условия на воздействующие факторы» должен принадлежать множеству особенностей, являющихся для рассматриваемого причинно-следственного отношения воздействующими факторами:

$b \in \text{причинно-следственное отношение} \ \& \ \text{ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ } (b) = F \ \& \ j \in \text{ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ } 2(b) \ \& \ f \in \text{УСЛОВИЕ НА ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ } (j) \rightarrow \text{АТРИБУТ } (f) \in F;$

$M \in \text{процесс} \cup \text{действие} \ \& \ \text{ПЕРИОДЫ ДИНАМИКИ } (M) = P \ \& \ k \in [1, \text{LENGTH}(P)] \ \& \ b \in \text{проявление процесса} \cup \text{воздействие отделения ГВГСС1} \ \& \ \text{ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ } (b) = F \ \& \ j \in \text{ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ } 1(k, b) \ \& \ f \in \text{УСЛОВИЕ НА ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ } (j) \rightarrow \text{АТРИБУТ } (f) \in F.$

[43] Область значений компоненты необходимого условия или условия на воздействующие факторы должна быть подобластью возможных значений той особенности, которая определяет данное условие:

$y = \text{АТРИБУТ } (x) \rightarrow \text{ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНИЙ } (x) \subset \text{ОБЛАСТЬ ВОЗМОЖНЫХ ЗНАЧЕНИЙ } (y).$

[44] Атрибут «роль объекта действие отделений ГВГСС», являющегося причиной воздействия отделения ГВГСС 1 или воздействия отделения ГВГСС N, имеет значение процесс. Если объект «действие отделения ГВГСС» является следствием причинно-следственной связи вариант действий, атрибут роль принимает значение цель.

$D \in$ действие отделения ГВГСС & $b \in$ воздействие отделения ГВГСС 1 \cup воздействие отделения ГВГСС N & СЛЕДСТВИЕ (b) = P \rightarrow АТРИБУТ (P) = процесс;

$D \in$ действие ГВГСС & $b \in$ вариант действий & СЛЕДСТВИЕ (b) = P \rightarrow РОЛЬ (D) = цель.

Выполнение необходимых условий

[45] Если в модели действительности есть некоторый объект и этому объекту соответствует некоторое понятие в модели знания, и знание об этом понятии содержит необходимое условие, то это необходимое условие для этого объекта должно быть выполнено.

[46] Если в некоторый момент времени признак имеет значение, то для этого признака должно быть выполнено необходимое условие:

$S \in$ признак & $m \in$ момент времени & $S(m) = I$ & $n \in$ НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ(S) – ВЫПОЛНЕНО (n).

[47] Если в некоторый момент времени имеет место событие, то для этого события должно быть выполнено необходимое условие:

$E \in$ событие & $n \in$ НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ (E) \rightarrow ВЫПОЛНЕНО (n).

[48] Если в некоторый момент времени имеет место процесс, то для этого процесса должно быть выполнено необходимое условие:

$P \in$ процесс & $n \in$ НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ (P) \rightarrow ВЫПОЛНЕНО (n).

[49] Если на некотором интервале времени значения признака определяются реакцией на событие, то для этой реакции на событие должно быть выполнено необходимое условие:

$E \in$ событие & $S \in$ признак & ПРИЧИНАЯ СВЯЗЬ(i , S) = PNC (E, S, O_1 , O_2 , τ) & $b \in$ PNC(E, S, soar) & sort = ОТНОШЕНИЕ ОБЪЕКТОВ (O_1 , O_2) & СЛЕДСТВИЕ (b) = S & $n \in$ НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ(b) \in ВЫПОЛНЕНО(n).

[50] Если в некоторый момент времени имеет место процесс, и причиной данного процесса является этиология процесса, то для этой этиологии процесса должно быть выполнено необходимое условие:

$E \in$ событие & $P \in$ процесс & ПРИЧИНА ПРОЦЕССА(P) = ЭТИОЛОГИЯ ПРОЦЕССА (E, P, O_1 , O_2 , τ) & $b \in$ ЭТИОЛОГИЯ ПРОЦЕССА(E, P, sort) & sort = ОТНОШЕНИЕ ОБЪЕКТОВ(O_1 , O_2) & СЛЕДСТВИЕ (b) = P & $n \in$ НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ (b) – ВЫПОЛНЕНО (n).

Остальные соотношения, определяющие выполнение необходимых условий для причинно-следственных отношений, по своей структуре схожи с выше указанными условиями.

Описание причин процесса

[51] Если модель знания содержит описание этиологии процесса и для некоторого варианта причинной закономерности этой этиологии процесса выполнены условие на причину и условие на воздействующие факторы, то этот вариант причинной закономерности рассматриваемой этиологии входит во «множество возможных вариантов». Причинно-следственная связь этой

этиологии входит во множество возможных причин процесса, а за начало этого варианта причинной закономерности этиологии процесса принимается момент времени, в течение которого произошло событие, являющееся причиной этой этиологии:

$V \in$ ЭТИОЛОГИЯ ПРОЦЕССА (E, P, sort) & МОМЕНТ ВРЕМЕНИ(E) = t & j \in ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ 2 (B) & f1 \in УСЛОВИЕ НА ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ (j) & f2 \in УСЛОВИЕ НА ПРИЧИНУ (j) & ВЫПОЛНЕНО(f1) & ВЫПОЛНЕНО (f2) & sort = ОТНОШЕНИЕ ОБЪЕКТОВ (O₁, O₂) & ЭТИОЛОГИЯ ПРОЦЕССА {E, P, O₁, O₂, t} = b \rightarrow j в множество возможных вариантов (b) & b \in множество возможных причин процесса (P) & НАЧАЛО (j) = t.

[52] Если модель знания содержит описание осложнения и при этом для некоторого варианта причинной закономерности этого осложнения выполнено условие на причину и условие на воздействующие факторы, то этот вариант причинной закономерности рассматриваемого осложнения входит во «множество возможных вариантов». Причинно-следственная связь этого осложнения входит во «множество возможных причин процесса», и за начало варианта причинной закономерности осложнения принимается момент времени начала периода динамики того процесса, которое вызвало это осложнение:

$V \in$ ОСЛОЖНЕНИЕ((P₁, P₂, sort) & j \in ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ 1(i, B) & f1 \in УСЛОВИЕ НА ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ(j) & f2 \in УСЛОВИЕ НА ПРИЧИНУ(j) & ВЫПОЛНЕНО(f1) & ВЫПОЛНЕНО(f2) & sort = ОТНОШЕНИЕ ОБЪЕКТОВ (O₁, O₂) & ОСЛОЖНЕНИЕ ((P₁, P₂, O₁, O₂, i) = b \rightarrow j \in множество возможных вариантов (b) & b \in множество возможных причин процесса (P) & НАЧАЛО (j) = НАЧАЛО (j).

[53] Для элементов «множества возможных причин процесса» значение функции ПРИЧИНА ПРОЦЕССА (...) имеет максимальный приоритет: P \in процесс \rightarrow ПРИЧИНА ПРОЦЕССА(P) \in SUPREMUM (множество возможных причин процесса (P), ПРИОРИТЕТ 1).

[54] Если некоторая причинно-следственная связь является причиной процесса, то вариант этой причинно-следственной связи принадлежит множеству возможных вариантов рассматриваемой связи:

P \in процесс & b = ПРИЧИНА ПРОЦЕССА (P) \rightarrow ВАРИАНТ(b) \in множество возможных вариантов(b) & НАЧАЛО(b) = НАЧАЛО(ВАРИАНТ(b)).

[55] Если некоторая причинно-следственная связь является причиной процесса, которое входит в описание оперативной обстановки, то для варианта этой причинно-следственной связи должно быть выполнено описание динамики:

P \in процесс & b = ПРИЧИНА ПРОЦЕССА(P) & ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ (ВАРИАНТ (b)) = y \rightarrow (НАЧАЛО (P) – НАЧАЛО (b)) \in [LOWER BOUND (y), UPPER BOUND (y)].

Описание причин события

[56] Если модель знания содержит описание связи событий, и для некоторого варианта причинной закономерности этой связи событий выполнены условие на причину и условие на воздействующие факторы, то этот вариант причинной закономерности рассматриваемой связи входит во «множество возможных вариантов». Причинно-следственная связь этой этиологии входит во «множество возможных причин события», а за начало этого варианта причинной закономерности связи событий принимается момент времени, в который произошло это событие:

$V \in \text{СВЯЗЬ СОБЫТИЙ} (E_1, E_2, \text{sort}) \ \& \ \text{МОМЕНТ ВРЕМЕНИ}(E_1) = t \ \& \ j \in \text{ПРИЧИННАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ} \ 2(V) \ \& \ f1 \in \text{УСЛОВИЕ НА ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ} (j) \ \& \ f2 \in \text{УСЛОВИЕ НА ПРИЧИНУ}(j) \ \& \ \text{ВЫПОЛНЕНО}(f1) \ \& \ \text{ВЫПОЛНЕНО}(f2) \ \& \ \text{sort} = \text{ОТНОШЕНИЕ ОБЪЕКТОВ} (O_1, O_2) \ \& \ \text{СВЯЗЬ СОБЫТИЙ} (E_1, E_2, O_1, O_2, t) = b \rightarrow j \ \text{множество возможных вариантов}(b) \ \& \ b \in \text{множество возможных причин события} (A_2) \ \& \ \text{НАЧАЛО}(j) = t.$

На рисунке 3.3 изображена диаграмма взаимодействия терминов онтологии причинно-следственных связей «связь событий»

Остальные соглашения, устанавливающие причину для событий, определяются аналогично.

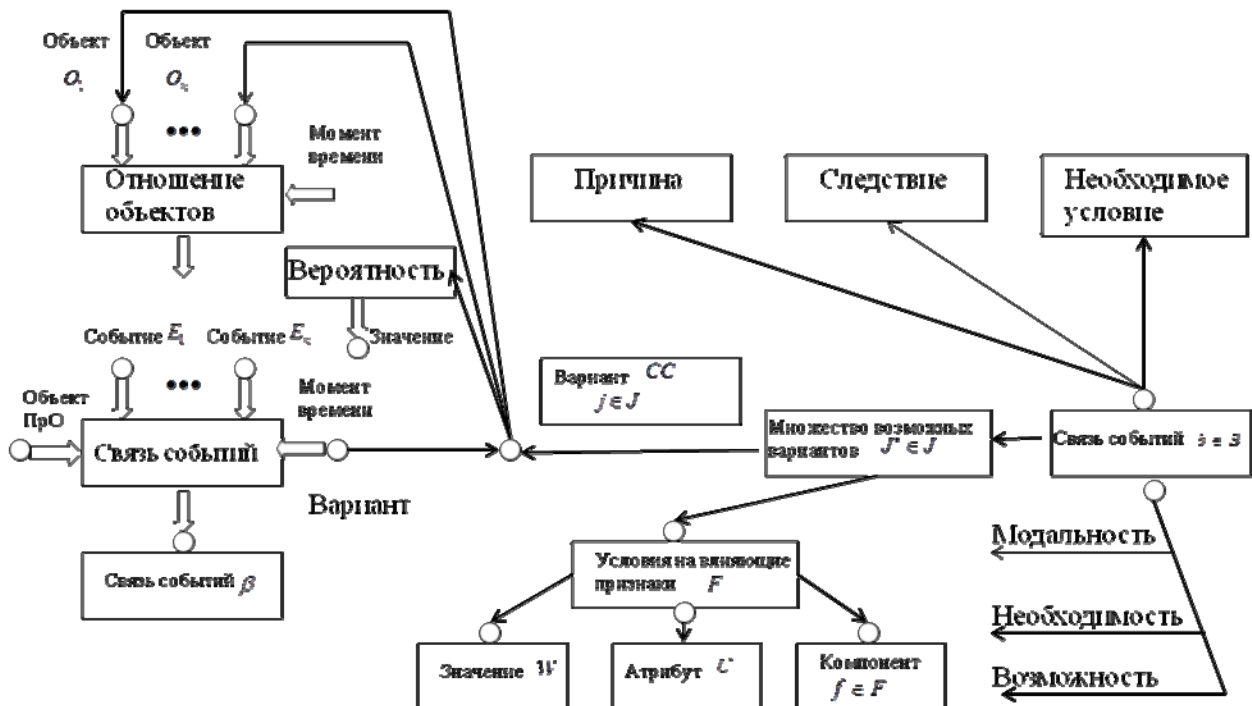


Рис.3.3. Диаграмма взаимодействия терминов онтологии причинно-следственных связей «связь событий»

Свойства интервалов разбиения, соответствующего периодам динамики процесса

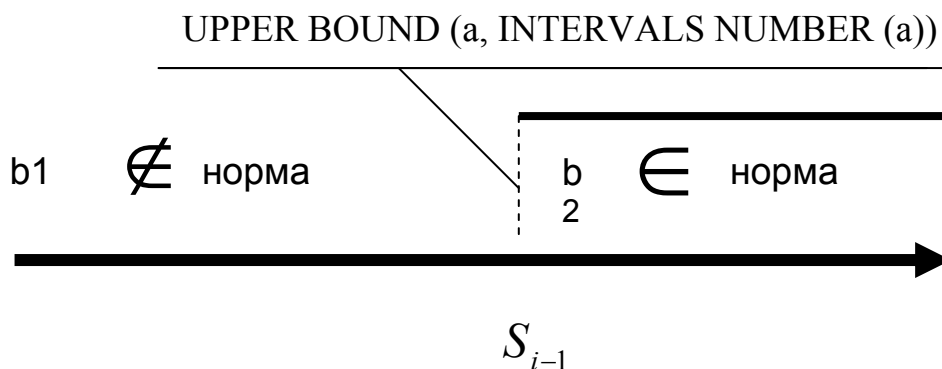
[57] Начало первого периода динамики процесса совпадает с началом процесса, а длительность каждого интервала разбиения находится между нижней и верхней границами длительности этого периода динамики, определенными в базе знаний:

$P \in \text{процесс} \ \& \ \text{ПЕРИОДЫ ДИНАМИКИ}(P) = P1 \ \& \ \text{LENGTH}(P1) = W \ \& \ \sigma = \text{РАЗБИЕНИЕ } 1(P) \rightarrow \text{LOWER BOUND}(\sigma, 1) = \text{НАЧАЛО}(P) \ \& \ \text{INTERVALSNUMBER}(\sigma) = W \ \& \ ((\text{UPPER BOUND}(\sigma, k) - \text{LOWERBOUND}(\sigma, k)) \subseteq [\text{LOWER BOUND}(\text{ELEMENT}(P1, k)), \text{UPPER BOUND}(\text{ELEMENT}(P1, k))])$.

Свойства разбиения оси времени

В этом подразделе приводятся условия, налагаемые на границы интервалов разбиения оси времени, связанного с признаком.

[58] Причинно-следственные связи, определяющие значения некоторого признака на двух соседних интервалах разбиения оси времени, связанного с этим признаком, различны: $S \in \text{признак} \ \& \ i \in [2, \text{INTERVALS NUMBER}(\text{РАЗБИЕНИЕ } 1(S))] \ \& \ \text{ПРИЧИННАЯ СВЯЗЬ}(I, S) = b2 \ \& \ \text{ПРИЧИННАЯ СВЯЗЬ}(i-1, S) = b1 \rightarrow b2 \neq b1$.



где $a = \text{РАЗБИЕНИЕ}$

Рис. 3.4. Определение границ разбиения, связанного с признаком для случая, когда ни одна из причинных связей не является нормой.

[59] Если для i -го и $(i-1)$ -го интервалов разбиения s оси времени t , связанного с некоторым признаком, ни одна из причинно-следственных связей $b1$ и $b2$ не является нормой, то нижняя граница i -го интервала (...) является либо концом последнего периода динамики причинно-следственной связи $(i-1)$ -го интервала ($b1$), либо началом причинно-следственной связи i -го интервала ($b2$).

3.4. Синтаксис и семантика языка для сетевого планирования оперативных действий подразделений горноспасателей при ликвидации аварий на шахтах

L языком иерархического сетевого планирования оперативных действий (ИСПДЛА) является язык первого порядка (с некоторыми расширениями), сигнатура которого представлена семёркой

$$\Sigma = \langle S, V, C, P, F, T, N \rangle,$$

где

$S = S^0 \cup S^d$ - множество сортов, разделенное на два независимых множества:

сортов (типов) данных и сортов объектов;

V - Множество символов переменных;

C - конечное множество символов констант;

F - конечное множество символов операций;

P - конечное множество символов элементарных тактических операций;

T - конечное множество символов составных тактических операций;

N - множество символов, используемых для маркировки задач.

Все перечисленные выше множества независимы. Каждый объект сорта $s \in S^0$ принадлежит некоторому классу объектов C_s , определяющему структуру и поведение его экземпляров. Объектный сорт $s \in S^0$ определяется множеством экземпляров-объектов и операций над ними. На множестве C_s может быть задано отношение предок-потомок. При этом класс потомка наследует свойства класса-предка. Таким образом, все классы объектов $C_{s,s} \in S^0$ образуют систему [Obispo].

Семантика языка ИСП ОД, аналогично семантике HTN - планирования, представляется кортежем $M = \langle S_m, F_M, T_M \rangle$ - В дальнейшем, если из контекста ясно, на какую модель производится ссылка, то нижний индекс M опускается: $M = \langle S, F, T \rangle$, где $S = 2^{\{\text{основные_атомы}\}}$ - множество возможных состояний оперативной обстановки; $F : F \times S^d \times S \rightarrow S$ - функция отображения действий отделений ГВГСС, определяющая состояние, которое будет зафиксировано сразу после начала и после завершения действия ГВГСС;

$$T : \{\text{основные_неэлементарные_задачи}\} \rightarrow 2^{\{\text{основные_элементарные_сети_задач}\}}$$

отображает каждую неэлементарную задачу $a \in T$ на множество (не обязательно конечное) основных элементарных задач $T(a)$.

Каждое состояние $s \in S$ представляет собой множество, состоящее из атомов, имеющих значение *true* в этом состоянии. Любой атом, отсутствующий в описании состояния, равен *false*. Таким образом, состояние s соответствует некоему «моментальному снимку» внешней среды.

Принимая в качестве входных параметров символ элементарной задачи из множества F , параметры из множества S^d и исходное состояние S , функция представления действий ГВГСС - T определяет, какое состояние будет зафиксировано сразу после начала выполнения или после завершения действия. Функция представления действий ГВГСС T может быть не определена для

некоторых входных состояний, а именно для тех, для которых данное действие невыполнимо.

Каждая элементарная сеть задач d содержит в $T(\alpha)$ множество действий, посредством которых достигается α , при определенных условиях, которые определены в формуле ограничений для сети задач d .

Существует два ограничения на интерпретацию $T(achieve[I])$ целевой задачи $achieve [I]$. Во-первых, $I = true$ в конце любой сети задач - $T(achieve[I])$.

Во-вторых, поскольку для выполнения целевой задачи может быть использован пустой план (если целевой литерал всегда $true$), то $T(achieve[I])$ должен содержать сеть задач, состоящую из единственной фиктивной задачи. Притом, что I всегда истинно.

Ограничением на интерпретацию $T(achieve[I])$, обеспечивающей задачи $provide [I] = provide [I, begin] \wedge provide [I, end]$, является $I = true$ от начала до конца любой сети задач в $T(achieve [I])$. Второе ограничение для $T(achieve [I])$ такое же, как и для $T(achieve [I])$. Применяя адаптированный для ПрО синтаксис и семантику, формально опишем характеристики оперативной обстановки ПрО, которые представлены в табл. 3.2 [56].

Структура функционального комплекса, реализующего данный алгоритм, описывается в Приложении Е.

Как уже определялось выше, для выполнения задачи a необходимо выполнение всех задач в сети задач d без нарушения ограничений в d . Например, запись метода для достижения цели *спасение людей* (v_3) будет иметь вид:

$$\wedge \text{--подача -- пены -- обеспечена -- } (v_1, n_3) \wedge n_2 \text{ -- защита -- конструкции -- обеспечивается -- } (v_2, n_5) \wedge (n_3, \text{очаг -- ликвидирован -- } (v_3, n_5) \wedge (n_4, \text{завал -- разобран -- } (v_3, n_5) \wedge (\text{подача -- пены -- обеспечена -- } (v_1, n_2) \wedge (\text{взрывоопасных -- веществ -- нет -- } (v_3, n_5) \wedge (v_1 = v_2) \wedge (v_1 = v_3) \wedge (v_2 = v_3)].$$

Перед выполнением задачи (v_4) на объекте не должно находиться взрывоопасных веществ, а перед подачей пены на объект (v_2), должен быть обеспечен пеной объект (v_1) (т.е. описание состояния среды должно включать соответствующие основные атомы языка).

Таблица 3.2.

Характеристики оперативной обстановки и их интерпретации

Характеристика оперативной обстановки в момент времени t	Интерпретация алгоритмом ИСПОД ГВГСС	Общий пример реализации	Пример реализации: «Пожар на шахте «Известий»»
1	2	3	4
<p>1. Действие ГВГСС $d(h, obj, t_0, t', nc, form, per) \in D(t)$</p>	$(achieve[nc], P(dp.h, dobj)) = true \wedge P(d.t_0 \in [] \wedge d.t' \in [] \wedge d.per \in [] \wedge d.nc = true \wedge t > d.t_0 \wedge t = d.t_0 + d.t') = true$	<p>«достигнете [необходимое условие], наименование элементарной тактической операции = «истина» \wedge начало тактической операции $\in [] \wedge$ окончание тактической операции $\in [] \wedge$ период действия тактической операции $\in [] \wedge$ период действия тактической операции = необходимыми условий = «истина» \wedge время = сумме времени начала и окончания действия».</p>	<p>«достигнете [постоянно производилась работы по подаче воды с вешеством высокого эндотермического действия «PYROSCOOL» за перемычку №108, контроль рудничной атмосферы аварийного участка] = «истина» \wedge начало тактической операции $\in [4.09.09, 22ч.12м.] \wedge$ окончание тактической операции $\in [6.09.09, 17ч.45м.] \wedge$ период действия тактической операции $\in [43ч.33м.] \wedge$ период действия необходимых условий = «истина» \wedge время > времени начала действия \wedge время = сумме времени начала и окончания действия».</p>

<p>2.Событие $e(h, obj, t_0, nc) \in E(t)$</p>	$(achieve[nc], P(e, h, e, obj) = true \wedge P(et_0 \wedge t > et_0) = true$	<p>«достигнете [необходимое условие], (множество событий, наименований объектов) = «истина» \wedge (время окончания события $>$ времени начала события) = «истина»»;</p>	<p>«достигнете: [Ликвидированы очаги горения по б уклону пл.к[#]7 гор.295м до перемычки №108]. [В верхней части перемычки №108 были обнаружены очаги горящего метана]. [Отделения приступили к тушению пожара и охлаждению тела перемычки. [Произведены работы по увеличению подачи воды на аварийный участок за счёт отсечения от системы водоснабжения других участков шахты]. [Установлены парусные перемычки в устьях тупиковых забоев] = «истина» \wedge время окончания события [6.09.09,17ч.45м.] $>$</p> <p>времени начала события [4.09.09,22ч.12м.] = «истина»»;</p>
<p>3.Обобщение $ag(h, obj) \in Ag(t)$</p>	$P(agh, ag.obj) = true \wedge P(ag \in \{\}) = true$	<p>«процесс (наименование обобщения, обобщение объекта) = истина \wedge процесс (обобщение $\in \{\})$ = истина»;</p>	<p>«(обобщение объекта - тупиковая часть 5 уклона пл.к[#]7 гор.505м, тупиковой части 8 уклона пл.к[#]7 гор.295м и тупиковой части вент. печи 4 лавы пл.к[#]7 гор.505м – восточное крыло г.505м) = истина \wedge процесс (обобщение $\in \{\})$ = истина»;</p>

<p>4. Ассоциативно е отношение объектов ПРО $rel(type, obj_1, obj_2) \in REL$</p>	$P(rel.type, rel.obj_1, obj_2) = true$	<p>«тип пространственного отношения между объектами, отношения между объектами 1 и 2 = истина»;</p>	<p>«тупииковая часть 5 уклона пл.к^н гор.505м соединена с тупииковой частью 8 уклона пл.к^н гор.295м»</p>
<p>5. Причинно-следственная связь $cer(h, type, rel, cs, ef, ns, t_0, sp, atkt, cons, [cc, per, mod]) \in CER(t)$, где $atkt - (af_1 \in [a_1...b_1], \dots, [a_n...b_n])$, причина cs связана с объектом obj_1, следствие ef связано с объектом obj_2</p>	$(achieve[cc], achieve[nc], (P(cer.type, cer.rel, obj_1, obj_2, cer.cs, cer.ef) = true \wedge P(rel.type, rel.obj_1, rel.obj_2) = true \wedge P(cer.t_0 \in [] \wedge cer.sp \in [0, 1] \wedge t.e.t_0) = true \wedge P(cer.af_1 \in [a_1...b_1] \wedge \dots \wedge cer.f_n \in [a_n...b_n]) = true \wedge [P(cer.per \in [] \wedge cer.mod \in \{необходимость, возможность\}) = true]) \equiv A = true$	<p>«достигнете [условие на причину], достигнете [необходимое условие], (процесс (тип причинно-следственной связи, ассоциативное отношение причинно-следственной связи, объект-1, объект-2, причина, следствие) = истина «И» процесс (ассоциативное отношение, объект-1, объект-2) = истина «И» процесс (причинно-следственная связь $t_0 \in []$ «И» условная вероятность причинно-следственной связи $\in [0, 1]$ «И» момент начала причинно-следственной связи) = истина «И» процесс (причинно-следственная связь $f_1 \in [a_1...b_1]$ «И» ... «И» причинно-следственная связь $f_n \in [a_n...b_n]$) = истина «И»</p>	<p>«Если продолжить подачу воды и пенообразователей в выработанное пространство пл.к^н через перемычку №108 и контроль состава рудничной атмосферы = истина «И» восстановить крепление 20 п. .м. 6 уклона пл.к^н гор.295м выше изолирующей перемычки №108, повреждённых во время пожара = истина «И» доставить к перемычке №108 оборудование для подачи парогазовой смеси в выработанное пространство с помощью генератора МВТ-1 = истина «И» выполнить монтаж оборудования для подачи парогазовой смеси = истина «И», ТО удаётся разгазировать 8 уклон пл.к^н гор.295м «И» разгазировать тупииковую часть 5 уклона пл.к^н гор.505м «И» ...«И»»</p>

			<p>[процесс (период динамики причинно-следственной связи $\in []$ «И» модальность причинно-следственной связи $\in \{ \text{необходимость} \}) = \text{истина}] \equiv A = \text{истина}$»).</p>	
<p>6. Значения признака s в момент времени t определяются причинно-следственной связью $cer(h, type, obj_1, obj_2, cs, ef, nc, t_0, cp, atkt, cons, [cs, htr, mod]) \in CER(t)$, где $type = \text{проявление}$ $nc = \text{процесса}$, $cons = ef \in [a...b]$</p>	$A = true \wedge P(cs) \in P(t) \wedge cer.cs = s \wedge s \in [a...b] = true$	<p>«A = истина «И» причина процесса \in множество процессов «И» причинно-следственная связь = сорт «И» сорт [a...b] = истина».</p>	<p>«Если восстановить крепление 20 п. м б уклона пл.к[#] гор.295м выше изолирующей перемычки №108, повреждённых во время пожара, то удастся с вероятностью 0,7 разгазировать 8 уклон пл.к[#] гор.295м сорт «И» сорт [a...b] = истина»</p>	
<p>7. Цель как желательное состояние объекта</p>	$(achieve [result], P(g.h, g.obj) = true \wedge P(g.nc = true \wedge g.f \in [] \wedge g.r \in [] \wedge g.os \in [] \wedge g.form = state) = true$	<p>«достигнете [результат], процесс (название цели, объект с которым связана цель) = истина «И» процесс (необходимое условие достижения цели = истина «И»»</p>	<p>«достигнете [ликвидировать пожар], (- разработать проект на тушение пожара в горных выработках пл.к[#] гор.295м до 07.09.09г.; -продолжать подачу воды и</p>	

<p>$g(h, obj, nc, form, result, [f, r, os, timereq]) \in G(t)$</p>		<p>ограничения на ресурсы необходимые для достижения цели $\in [] = state$) = истина».</p>	<p>пенообразователей в выработанное пространство пл.к[#]7 через перемычку №108 и контроль состава рудничной атмосферы;</p> <p>-восстановить крепление 20 п.м 6 уклон пл.к[#]7 гор.295м выше изолирующей перемычки №108, повреждённых во время пожара;</p> <p>- доставить к перемычке №108 оборудование для подачи парогазовой смеси в выработанное пространство с помощью генератора МВТ-1;) = истина «И» ...»</p>
<p>8.Цель как действие подразделений ГВГСС $g(h, obj, nc, form, result, [f, r, os, timered]) \in G(t)$</p>	<p>(provide [result, begin], $P(g.h, g.obj) = true \wedge$ $P(g.f \in [] \wedge g.r \in [] \wedge g.os \in [] \wedge$ $g.form = action) =$ $true, provide [result, end])$</p>	<p>«обеспечьте [результат, начало], процесс (название цели, объект с которым связана цель) = истина «И» процесс (необходимое условие достижения цели = истина «И» ограничения на ресурсы необходимые для достижения цели $\in []$ «И» форма постановки цели = действие) = истина, обеспечит [результат, конец]»).</p>	<p>«обеспечьте (Первое отделение 5 ВГСО направлено на разведку аварийного участка со стороны исходящей струи по маршруту: - 8 уклон пл.к[#]7 гор.295м, 7 лава пл.к[#]7 гор.295м, 7 уклон пл.к[#]7 гор.295м, вент. штрек гор.295м на 6 уклон пл.к[#]7 гор.295м для оказания помощи пострадавшим и вывода людей на свежую струю воздуха) = истина «И»...»</p>

<p>9.Цель как элементарная задача (н.р., доставить генератор пены) $g(h, obj, nc, form, result,$ $[f, r, os, timered])$ $\in G(t)$</p>	$(achieve[nc], P(g.h, g.obj) = true \wedge P(g.f \in [] \wedge g.r \in [] \wedge g.os \in [] \wedge g.form = task) = true \wedge P(g.result = true), do[f(x_1, \dots, x_k)])$	<p>«достигнете [необходимое условие], процесс (название цели, объект с которым связана цель) = истина «И» процесс (ограничения на ресурсы необходимые для достижения цели $\in []$ «И» форма постановки цели = задача) = истина «И» процесс (вид результата = истина), сделайте: $[f(x_1, \dots, x_k)]$.</p>	<p>«достигнете [необходимое условие], процесс (отделения ГВСС, установив ГП-3 на ПОТ 6 уклона пл.к⁷ гор.295м приступили к тушению видимых очагов горения)» = истина «И» ...»</p>
<p>10.Цель как сложная задача (н.р., ликвидировать очаг пожара) $g(h, obj, nc, form, result, [f, r, os, timered]) \in G(t)$</p>	$(achieve[nc], perform[t(x_1, \dots, x_k)], P(g.h, g.obj) = true \wedge P(g.f \in [] \wedge g.r \in [] \wedge g.os \in [] \wedge g.form = task) = true \wedge P(g.result = true))$	<p>«достигнете [необходимое условие], период динамики, форма постановки $[t(x_1, \dots, x_k)]$, процесс (название цели, объект с которым связана цель) = истина «И» процесс (ограничения на ресурсы необходимые для достижения цели $\in []$ «И» форма постановки = задача) = истина «И» процесс (обобщение результат = истина)».</p>	<p>«достигнете [необходимое условие], период динамики, форма постановки</p> <p>[Газовая обстановка должна быть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6 уклон пл.к⁷ гор.295м из-за перемычки №101: - $CH_4 - 0,5\%$; $CO - 0,00\%$; $CO_2 = 0,8\%$, $O_2 - 20\%$; - 8 уклон пл.к⁷ гор.295м 20м ниже 7 лавы пл.к⁷ гор.295м: - $CH_4 - 0,65\%$; $CO - 0,00\%$; $CO_2 = 0,2\%$, $O_2 - 20,5\%$; - 7 уклон пл.к⁷ гор.295м у перемычки №109: - $CH_4 - 0,75\%$; $CO - 0,00\%$; $CO_2 = 0,4\%$, $O_2 - 20,3\%$;...] <p>если выполнить элементарные задачи:</p> <ul style="list-style-type: none"> -восстановить крепление 20 п. м 6 уклона пл.к⁷ гор.295м выше изолирующей перемычки №108, повреждённых во время пожара = истина «И»; - доставить к перемычке №108 оборудование для подачи парогазовой смеси в выработанное пространство с помощью генератора МВТ-1 = истина «И»;

3.5. Выводы по третьей главе

1. Построена онтологическая модель ПрО для разработки СИППР при ликвидации аварий на шахтах, которая позволяет представлять прецеденты в виде вариантов причинно-следственных связей. При этом модель процесса управления действиями подразделений горноспасателей при ликвидации аварий формально определяет основные понятия ПрО и их отношения, используемые в базе знаний для СИППР в качестве декларативных статических знаний. Онтология ПСС представляет собой неизменяемую часть (относительно жизненного цикла проектируемой системы) знания о зависимостях, имеющих место в процессе развития оперативной обстановки при ликвидации аварий. Фактором, влияющим на выбор варианта ПСС в качестве варианта, определяющего значение признака в определенном интервале времени, время возникновения того или иного события или процесса, является тип ПСС.

Таким образом, построенная онтологическая модель предметной области является базисом, обеспечивающим:

- формализацию представления тех знаний, которые не изменяются в процессе эксплуатации системы;

- возможность прогнозирования состояния оперативной обстановки на пожаре, используя сохраненные в базе знаний онтологии прецедентов в виде вариантов причинно-следственных связей;

- корректное функционирование подсистемы генерации проектов управленческих решений реализуемо за счет задания ограничений на множество возможных ситуаций, имеющих место в исследуемой ПрО;

- возможность разработки процедуры хранения и поиска прецедентов в базе знаний системы;

- для обеспечения формального описания процесса формирования оперативных планов с использованием прецедентов был дополнен синтаксис специального языка и адаптирована семантика ПрО, лежащие в основе алгоритмов формирования тактических планов.

2. Предложен метод иерархического сетевого формирования планов оперативных действий подразделений ГВГСС с использованием аккумулярованных в базе знаний прецедентов, отличающийся от классического HTN-алгоритма тем, что: - реализован механизм генерации планов оперативных действий, который предусматривает возможность одновременного (параллельного) выполнения нескольких задач. Также введен новый тип задач - обеспечивающая задача. С учетом специфики исследуемой предметной области изменен механизм автоматического формирования плана. База знаний, используемая при генерации планов, может быть неполной, и план может состоять как из элементарных, так и составных задач.

3. Разработан язык для описания оперативно-тактических действий подразделений горноспасателей в аварийной обстановке, что дает возможность формализовать ее описание и идентифицировать ситуацию на объекте управления.

ГЛАВА 4

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ГЕНЕРАЦИИ ОПЕРАТИВНЫХ ПЛАНОВ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ГОРНОСПАСАТЕЛЕЙ НА ШАХТАХ

4.1. Постановка задачи планирования оперативных действий при ликвидации аварий на шахтах

Управленческое решение РАР представляет собой оперативный план действий по ликвидации аварий или нахождение выхода из конкретной проблемной ситуации [4]. Исходные данные для постановки задачи планирования: характеристика оперативной обстановки (значения атрибутов объектов ПрО), обобщения, процессы, события и действия подразделений ГВГСС, а также множество целей (оперативных задач), которые могут быть поставлены перед подразделениями ГВГСС в текущей ситуации, ограничения, определяющие порядок приоритета достижения целей. Поскольку оперативная обстановка на аварии может меняться непрерывно, необходимо постоянно обновлять рабочую память планировщика системы поддержки принятия решений, содержащего информацию, указанную выше. Следовательно, необходим инструмент, позволяющий автоматически или с участием ЛПР выполнять функцию прогнозирования состояния оперативной обстановки с учетом действий участников ликвидации аварии. В качестве такого инструмента предлагается использовать построенную онтологическую модель причинно-следственных связей (раздел 3.3), позволяющую представлять прецеденты в виде вариантов причинно-следственных связей. Известны реализованные проекты систем автоматизированного планирования, основанные на использовании прецедентов (Case-Based Planning) [72, 76]. Предлагаемый подход иерархического сетевого планирования оперативных действий (ИСП ОД), базируясь на указанных выше идеях HTN-планирования [70-74], позволяет учитывать следующие особенности рассматриваемой ПрО: параллельное выполнение нескольких тактических задач (соответствует нестрогой упорядоченности задач, входящих в план оперативных действий); наличие большого количества различных операций, используемых для реализации тактических целей в исследуемой предметной области. При этом ПрО представляет собой достаточно большой срез знаний о действительности.

4.2. Иерархическое сетевое планирование действий при ликвидации аварий

В иерархическом сетевом планировании действий при ликвидации аварий каждое состояние среды представляется множеством атомов, имеющих значение *истина* (true) в этом состоянии. Действия, называемые в ИСП ликвидации аварий *элементарными задачами*, соответствуют переходам состояний, т.е. каждое действие – это частичное отображение множества состояний на множество состояний [74].

4.3. Сетевые методы приобретения знаний для системы интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах

При формировании баз знаний общепринятой практикой является применение специализированных редакторов знаний. В такой редактор закладывается информация о природе и структуре знаний предметной области, которые предполагается вводить с его помощью [20]. Специализированный редактор онтологии позволяет эксперту вводить знания в терминах исследуемой предметной области. Конечным продуктом порождения является база знаний, в которой присутствует часть знаний из онтологии, а также знания, полученные как результат разрешения неопределённостей, но уже не присутствуют знания о тех ограничениях, которые были внесены в онтологию [79 – 83]. На рис. 4.1– 4.4 представлены некоторые фрагменты баз данных ПрО, полученные по протоколам успешно ликвидированных аварий. Четыре фрагмента информации построены на основании трёх пожаров имевших место на шахтах им. «Известий», «Засядько» и «Суходольская-Восточная» приведены в Приложении F. В Приложении G приведена полная сетевая структура информации о проблемной среде – шахте в аварийной обстановке.

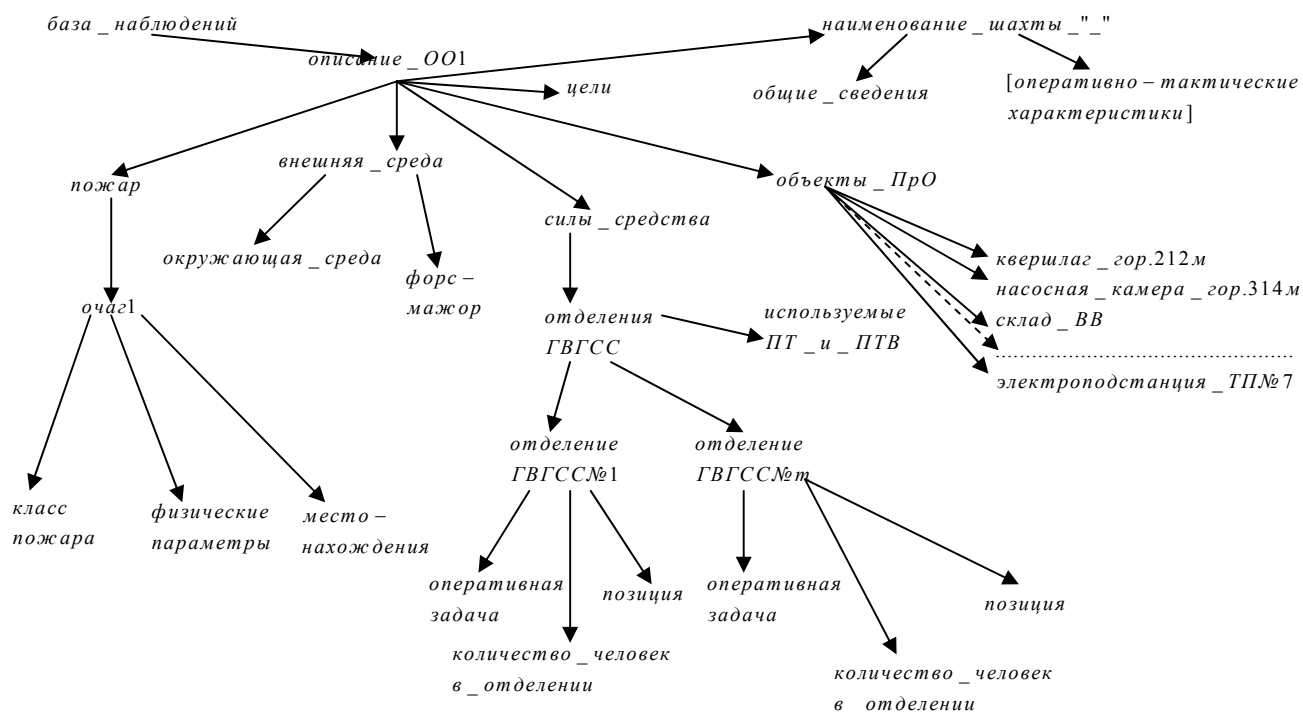


Рис. 4.1. Первый фрагмент базы данных ПрО – общая структура

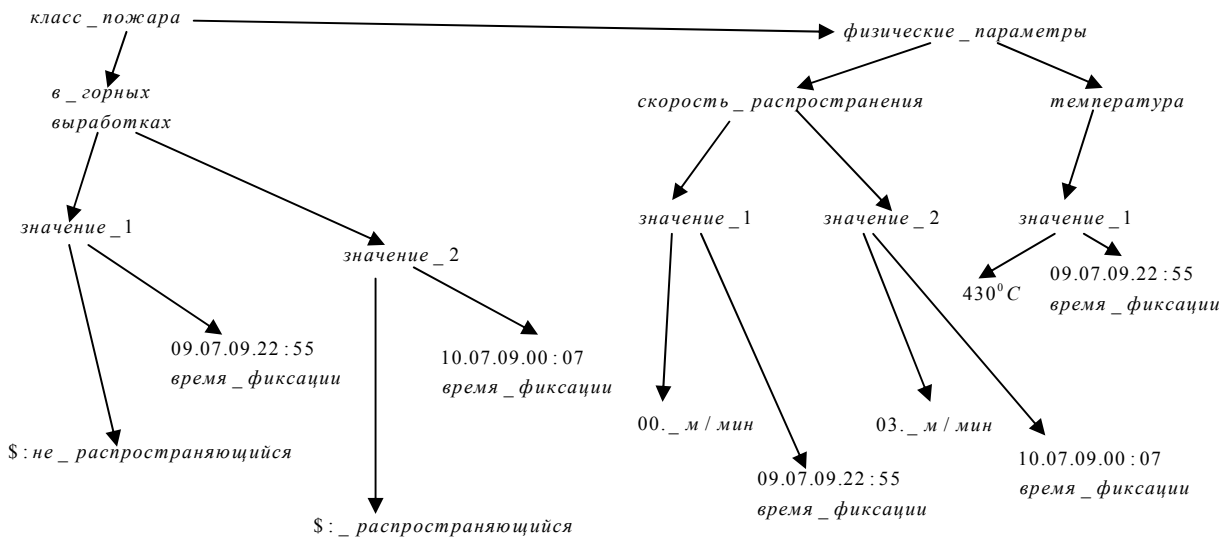


Рис. 4.2. Второй фрагмент базы данных ПрО – общая структура

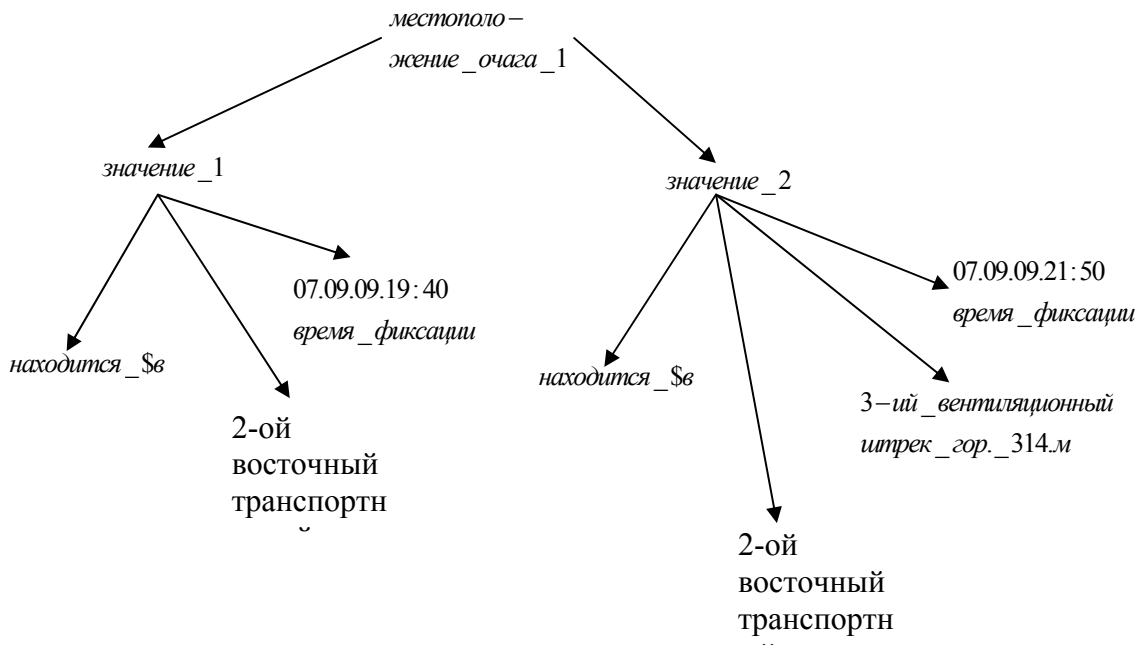


Рис. 4.3. Третий фрагмент базы данных ПрО – общая структура

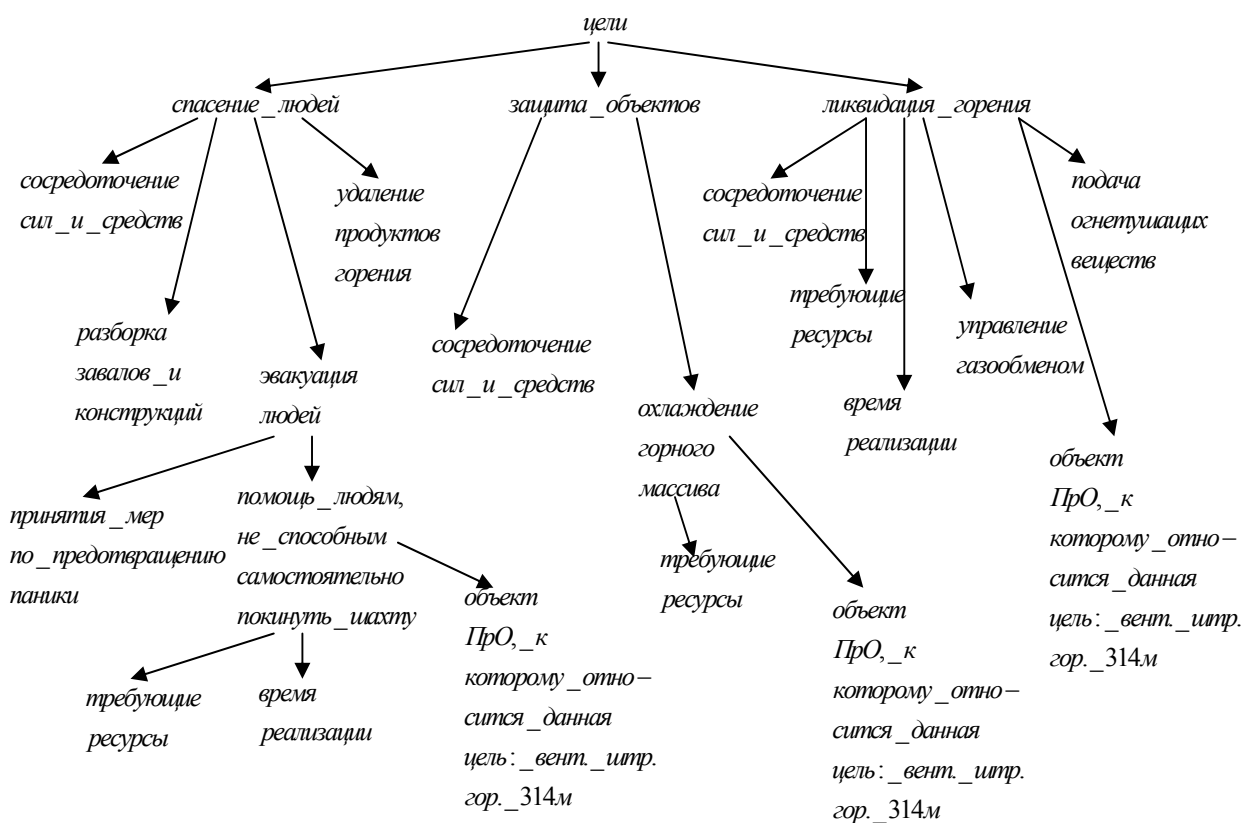


Рис. 4.4. Четвертый фрагмент базы данных ПрО – общая структура

4.4. Реализация онтологической базы знаний для системы интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах

При реализации онтологической базы знаний должна соблюдаться:

- целостность онтологии;
- выразительность онтологии;
- классификация по степени формальности.

Под целостностью онтологии понимают отсутствие взаимопротиворечащих утверждений в онтологии, выполнения логических условий и ограничений интерпретации. Выразительность это степень формальности онтологии, т.е. ограничения на интерпретацию элементов, использованные элементы языка при описании логических ограничений.

В разработанной онтологической базе знаний реализации описательной логики кодируются следующими знаками:

- \mathcal{F} - функциональные свойства;
- \mathcal{E} - полная квалификация достаточных условий;
- \mathcal{U} - объединение концептов;
- \mathcal{C} - сложное отрицание концептов;
- \mathcal{S} - аббревиатура для \mathcal{ALC} с транзитивными ролями;
- \mathcal{H} - иерархия ролей (под свойства - rdfs: sub PropertyOf);
- \mathcal{R} - ограниченные комплексы аксиом; рефлексивность и Ир рефлексивность, дизъюнкция ролей;
- \mathcal{O} - номиналы (Классы – перечисления, ограничения на значения - owl:one Of, owl: has Value);
- \mathcal{I} - инверсные свойства;
- \mathcal{N} - ограничения на мощность (owl: Cardinality, owl: Max Cardinality);
- \mathcal{Q} - квалифицированные ограничения мощности (доступные в OWL 1.1);
- (\mathcal{D}) - использования свойств со стандартными типами данных.

Некоторые канонические конструкции

\mathcal{AL}	Атрибутивный язык. - базовое отрицание (отрицание понятий, которые находятся слева от оператора); - пересечение концептов; $\theta\mathcal{G}$ - абсолютные ограничения; $\psi\zeta$ - ограничения количественных достаточных условий;
\mathcal{FL}_o	- подмножество языка \mathcal{FL}^- , в котором отсутствуют ограничения количественных достаточных условий.
\mathcal{EL}	- пересечения и полные достаточные условия.

Определение оценки качества онтологии производится с помощью двух систем логического вывода встроенных в среду графической разработки онтологий Protégé 4.0, Pellet 1.5, Fact ++.

Оба качества системы логического вывода позволяют проверять онтологию на целостность, производить логический вывод на множестве описательной логики SROIQ(D), используя для логического вывода табличный алгоритм. Также в отличие от Fact ++, Pellet 1.5 поддерживает логические правила SWRL (DL - безопасные правила). Скриншоты результатов исследования характеристик онтологии с помощью среды графической разработки Protégé 1.5 и пакетов логического вывода Fact ++ и Pellet 1.5 приведены на рис.4.6 - 4.8.

Подробное описание онтологической базы знаний СИППР при ликвидации аварий на шахтах приведено в Приложении I.

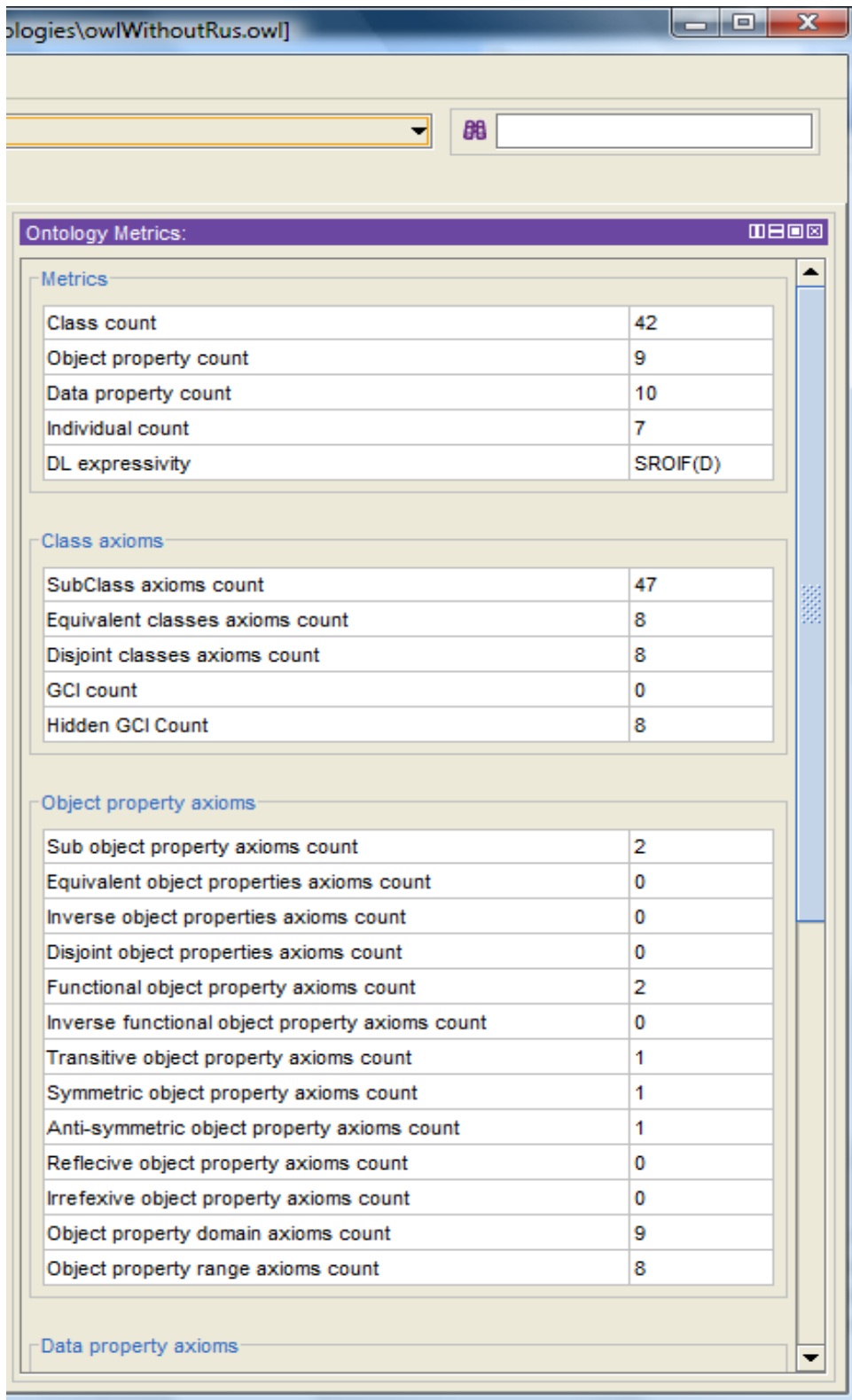


Рис.4.5. Фрагмент метрик и статистик онтологической базы знаний

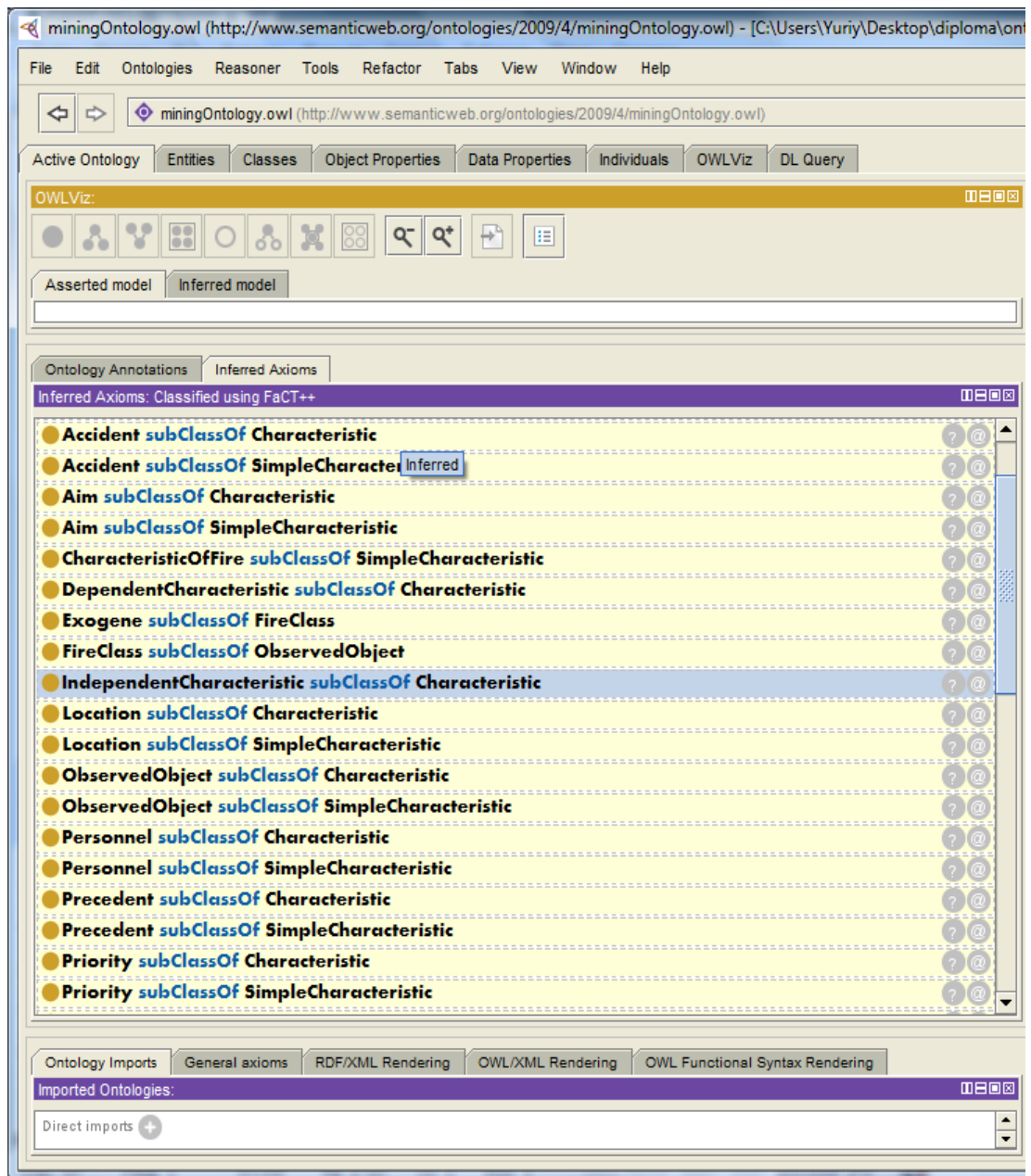


Рис.4.6. Логический вывод аксиом с помощью Fact ++

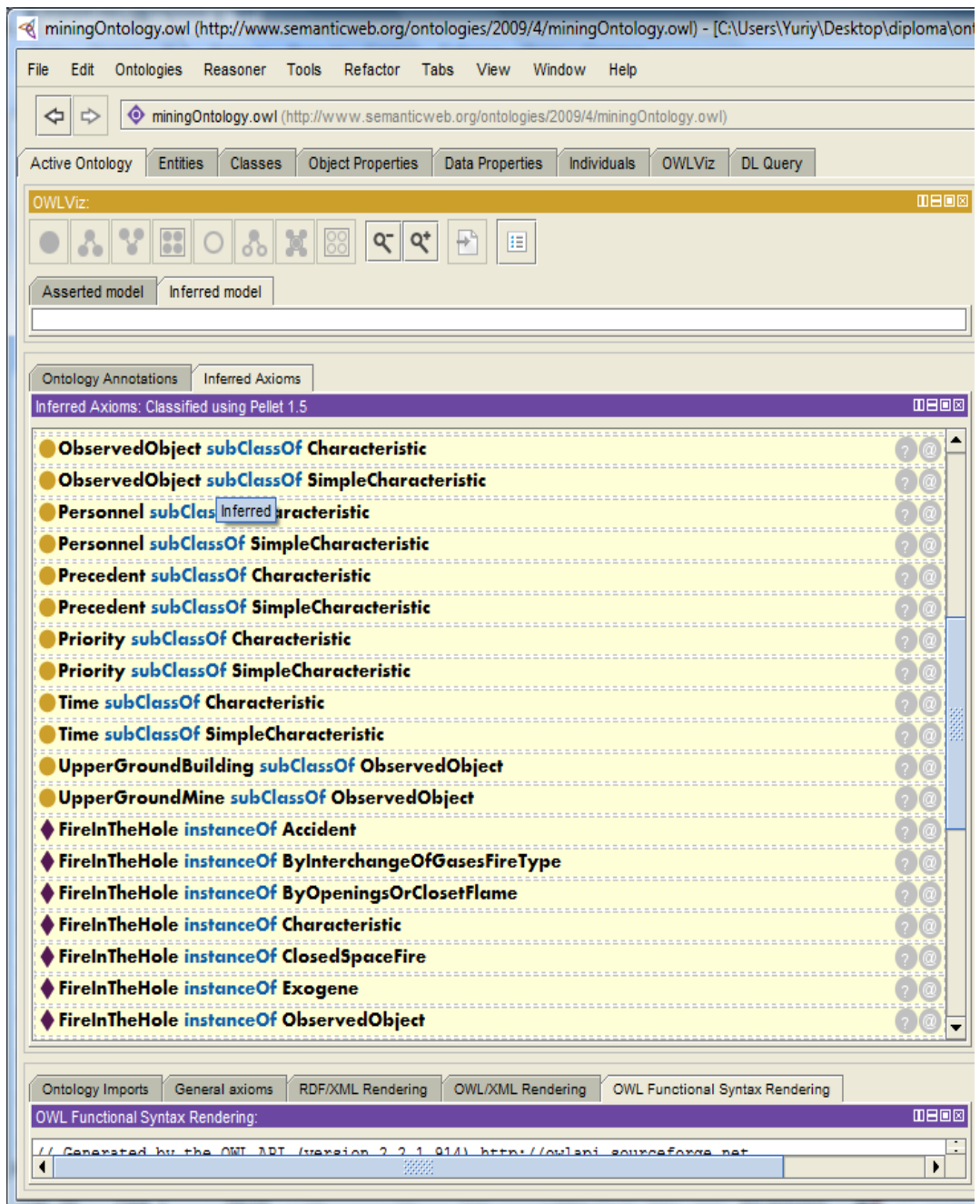


Рис. 4.7. Логический вывод аксиом с помощью Pellet 1.5.

4.5. Алгоритмы выбора решений при ликвидации аварий на шахтах

Общее описание процесса поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах

После возникновения аварии и ввода в действие плана ликвидации аварий подразделения горноспасателей действуют согласно его требованиям.

Горноспасатели принимают меры по спасению людей, а затем производят разведку аварийного объекта. Дальнейшие действия горноспасателей определяются «Оперативными планами» [84,85]. Общий алгоритм процесса принятия решений при ликвидации аварий на шахте включает в свой состав несколько этапов составления оперативных планов, количество которых зависит от сложности аварии. Этот алгоритм представлен на рис. 4.8.

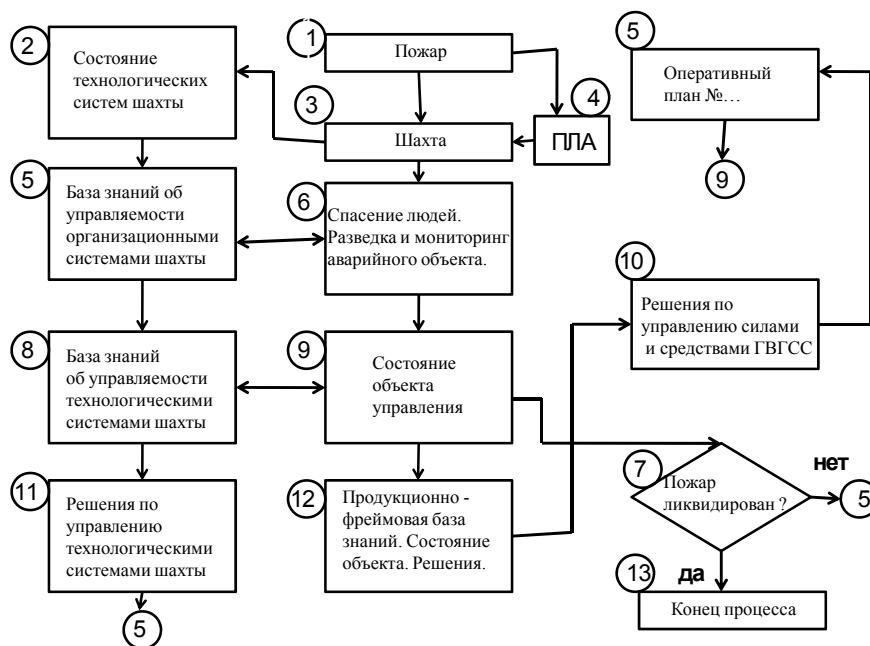


Рис.4.8. Схема обобщённого алгоритма поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах

Алгоритмы определения сходства и адаптации прецедентов

При поиске используются отношения типа «класс-класс» («is-a») и «часть-целое» («part-of»). Отношение «is-a» позволило при сравнении учесть степень таксономической близости концептов, а «part-of» - атрибуты экземпляров. Для сравнения сложных атрибутов (экземпляр – часть экземпляра) алгоритм применён рекурсивно, при заданной максимальной глубине рекурсии. При этом произведено сравнение атрибутов только совместимых типов (имеющих атрибуты общего базового класса).

Локальная мера сходства для отношения «is-a»:

$$Sim_{is-a}(a[i, j]_p, a[i, j]_q) = \frac{|A_S(a[i, j]_p) \cap A_S(a[i, j]_q)|}{|A_S(a[i, j]_p) \cup A_S(a[i, j]_q)|} \quad (4.1)$$

где $A_s(a[i, j]_p)$ - множество классов в онтологии прецедентов, с которыми сравнивается аварийная ситуация $A_s(a[i, j]_q)$;

A_s - множество классов в онтологии прецедентов;

$a[i, j]_p, a[i, j]_q$ - объекты в онтологии, входящие во множество A_s ;

Локальная мера сходства для отношения «part-of»

$$Sim_{po}(q, p) = \frac{\sum_{n=1}^H \sum_{k=1}^J f(sim_t)(a[i, j]_n^q, a[i, j]_k^p) * w_j}{l + m}, t \in T, a \in A, \quad (4.2)$$

где $a[i, j]_n^q, a[i, j]_k^p$ - атрибуты сравниваемых объектов с совпадающими названиями и типами (рис. 4.9);

i - номер слоя в сети;

j - номер атрибута в слое сети;

q - атрибуты текущей аварийной обстановки;

p - атрибуты прецедентов уже имевших место на шахтах;

$f(sim_t)$ - функция сравнения простых атрибутов предопределённых типов T ;

$T = \{ "string", "integer", "float", "boolean" \}$.

l, m - количество атрибутов в каждом из экземпляров;

w_j - вес, присвоенный атрибуту a .

Для сравнения значений атрибутов числовых типов использована нормированная дистанция $dist_T(a, b) = \frac{|a - b|}{ceil_T}$, где a, b - соответственно, значения числового типа, принадлежащие отрезку T , $ceil_T$ - максимальное значение, принадлежащее отрезку T . При этом, мера сходства будет равна $fsim_t(a, b) = 1 - dist_T(a, b)$. Значения атрибутов строковых типов сравниваются посимвольно и, в зависимости от атрибута, используется мера сходства либо, допускающая искажение, - «расстояние Хэмминга», либо не допускающая искажений, т.е. строгое посимвольное сравнение. После того, как рассчитаны локальные меры сходства элементов запроса и прецедентов определённого класса, вычисляется глобальная мера сходства:

$$\max Sim_{glob}(q, p) = \frac{sim_{is-a}(q, p) * w_{is-a} + sim_{po}(q, p) * w_{po}}{2}, \quad (4.3)$$

где w_{is-a}, w_{po} - соответственно, веса отношений «is-a» и «part-of».

На рис.4.9 изображена сетевая структура информации о состоянии шахты в аварийной обстановке с атрибутами a . На рис.4.10 - модель этой сетевой структуры. Для обозначения атрибутов в экземплярах сетевых моделей, что описывают действия и средства, применяемые подразделениями ГВГСС, используется атрибут b (рис.4.11). Модель фрагмента информации представлена на рис. 4.12.

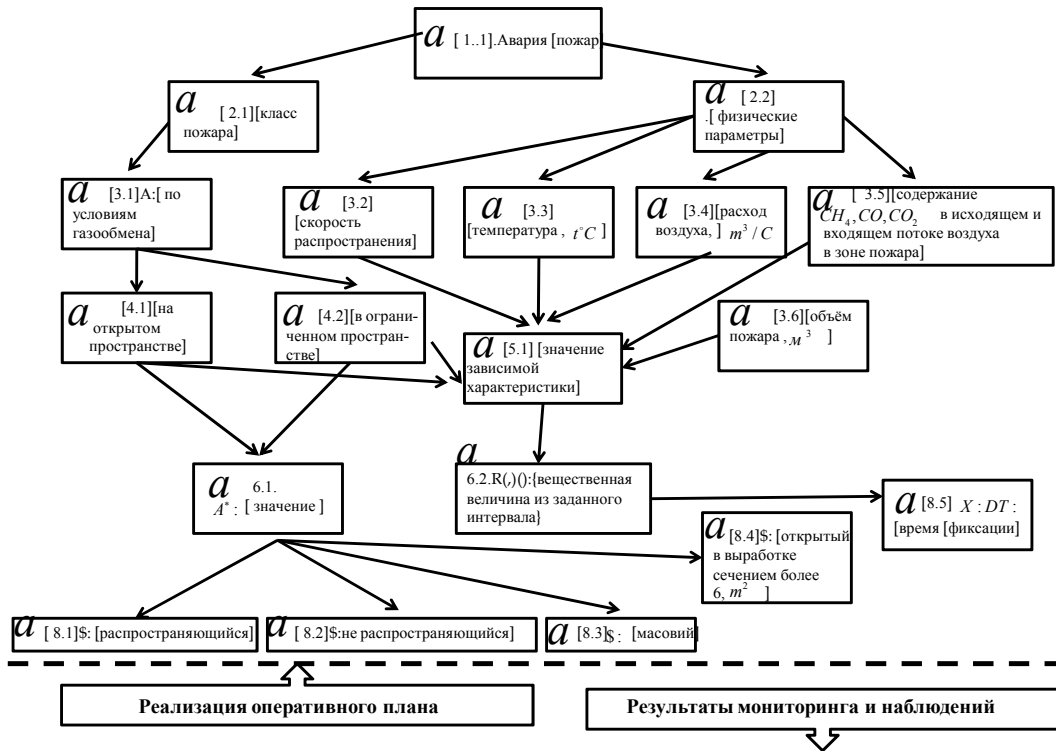


Рис.4.9. Фрагмент сетевой информации о состоянии аварийного объекта

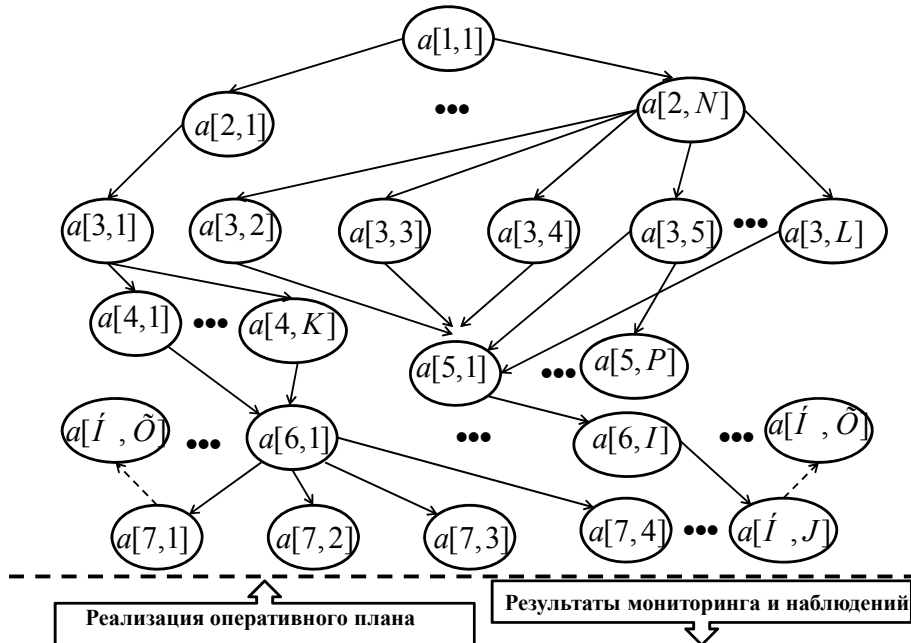


Рис. 4.10. Модель фрагмента информации – состояние аварийного объекта

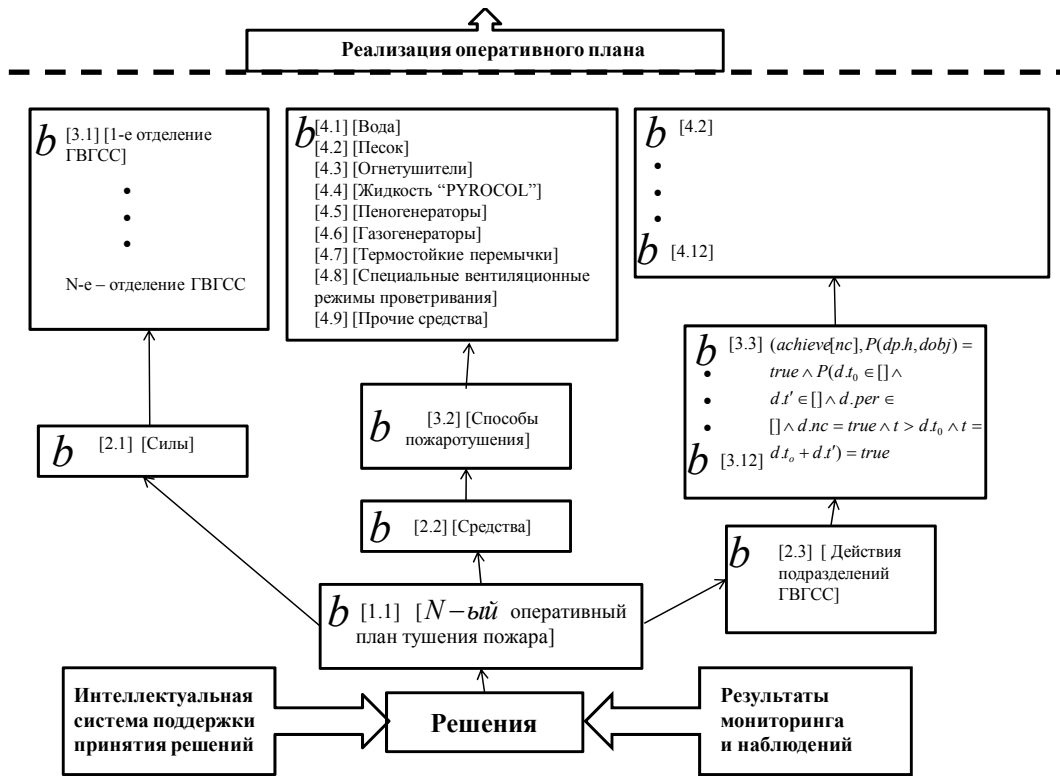


Рис. 4.11. Фрагмент сетевой структуры информации о действиях и средствах подразделений ГВГСС

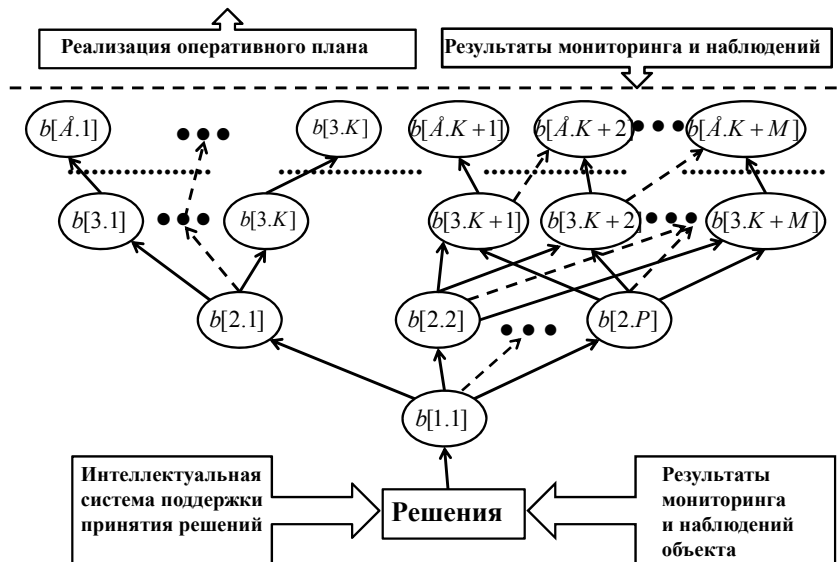


Рис. 4.12. Модель фрагмента сетевой структуры информации о действиях и средствах подразделений ГВГСС

Определение решений при отсутствии сходных прецедентов производится по зависимости:

$$a[i, j]_o = |a[i, j]_k^p - (a[i, j]_k^p \cap a[i, j]_k^q)|, \quad (4.5)$$

где $a[i, j]_p, a[i, j]_q$ - объекты с атрибутами в онтологии, входящие во множества A_p, A_q ;

Для каждого нового случая устанавливаются по возрастающей зависимости следующих соотношений:

$$\left(\frac{a[i, j]_n^q}{a[i, j]_k^{p*}} \right)_{1(\min)} < \left(\frac{a[i, j]_n^q}{a[i, j]_k^{p*}} \right)_2 < \dots < \left(\frac{a[i, j]_n^q}{a[i, j]_k^{p*}} \right)_{z(\max < 1)}, \quad (4.6)$$

где $a[i, j]_n^q, a[i, j]_k^p$ - атрибуты сравниваемых объектов с совпадающими названиями и типами (см. рис. 4.12);

На основании регрессионных связей $\gamma_{(n,k)}$ между параметрами $a[i, j]_o$ и атрибутами $b[n, k]$ по множеству сохранённых прецедентов устанавливаются необходимые решения, направленные на ликвидацию аварии.

$$\text{Матрица}_\text{ _влияний} - \mathfrak{R} = \left\| \begin{array}{l} IFb_{(1,1)} THEN [\gamma_{(1,1)} a_{(1,1)} \cap \gamma_{(1,2)} a_{(1,2)} \cap \dots \cap \gamma_{(1,n)} a_{(1,n)}]; \\ IFb_{(2,1)} THEN [\gamma_{(2,1)} a_{(2,1)} \cap \gamma_{(2,2)} a_{(2,2)} \cap \dots \cap \gamma_{(2,n)} a_{(2,n)}]; \\ \dots \\ IFb_{(k,1)} THEN [\gamma_{(k,1)} a_{(k,1)} \cap \gamma_{(k,2)} a_{(k,2)} \cap \dots \cap \gamma_{(k,n)} a_{(k,n)}] \end{array} \right\|, \quad (4.7)$$

где $b_{(i,j)}$ – изменение в управляющем воздействии (решение); $a_{(i,j)}$ – изменение в атрибутах (параметрах) экземпляров аварийных ситуаций; $\gamma_{(i,j)}$ – оператор регрессионного влияния решения на параметр. Если решение не влияет на параметр, то $\gamma_{(i,j)} = 0$; $k \neq n$ – соответственно, количество управляющих воздействий (решений) k не равно числу атрибутов n экземпляра аварийной ситуации.

В разработанной системе, если определён подобный прецедент, установление решений производится по аналогии (рис. 4.12).

Проверка работоспособности методов определения сходства прецедентов

При анализе исходной предметной области и задач разработки онтологии она естественно делится на базовую онтологию предметной области, которая составляет скелет описания, а также онтологию прецедентов, куда вносятся и где классифицируются прецеденты аварийных ситуаций. Важным этапом в процессе принятия решений является установление меры сходства прецедентов. При большом количестве методов идентификации (установления сходства) важно правильно выбрать подходящий вариант для конкретной предметной области.

В работе были исследованы методы анизотропных асимметричных метрик и Жаккара. Результаты позволили сделать вывод о целесообразности использования в данном случае метода «Жаккара» (рис.4.13, 4.14).

Генерация решений при составлении оперативных планов

В соответствии с предложенными моделями и алгоритмами разработаны методики проектирования СИППР при ликвидации аварий на шахтах.

Особенностью предложенных методик является применение принципов объектно-когнитивного анализа на этапе моделирования, а также в интеграции моделей правил и прецедентов на основе онтологии на этапе формализации процесса поиска решений [87].

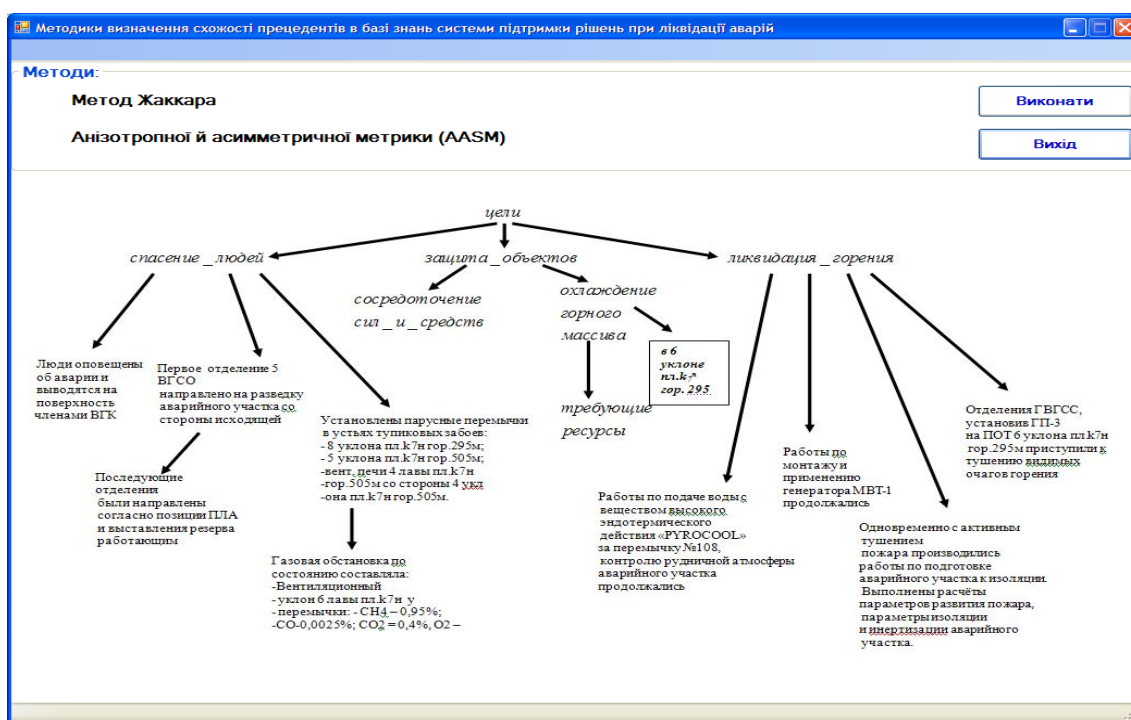


Рис.4.13. Окно фрагмента информации о состоянии шахты в аварийной обстановке

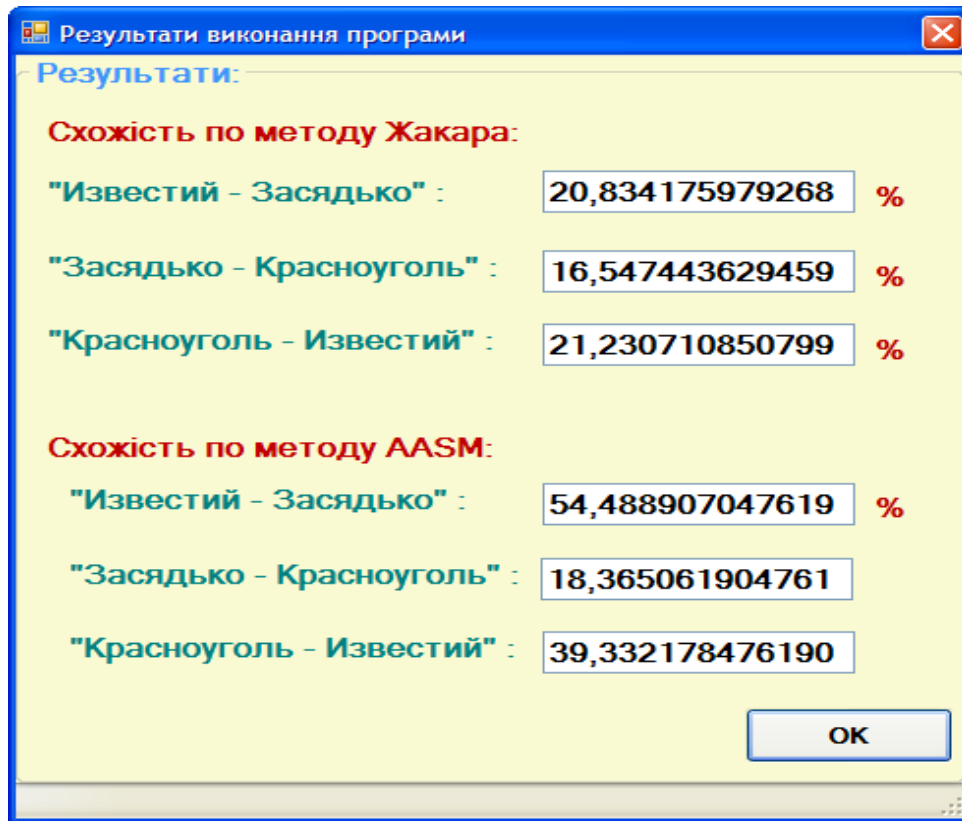


Рис. 4.14. Результаты сравнительного анализа методов установления сходства прецедентов

Поиск осуществляется на множестве прецедентов в $Onto^{Precedent}$, включающих две обязательные составные части: описание аварийных ситуаций (S) и пути выхода из них (решения) (P). Описание представляет множество пар {дескриптор, значение}, где значение – ссылка на объект – экземпляр класса онтологии $Onto$, инкапсулирующего свойства определённого компонента (части) системы поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах и описывающий определённый её параметр.

Прецедент p можно представить в виде пары $\langle s, r \rangle \in \mathbb{C} = sR$, состоящей из ситуации $s \in S$ и связанного с ней решения $r \in R$. Таким образом, допустимы прецеденты вида $\langle s, r \rangle$ и $\langle s, r' \rangle$, которые различны в случае, если $r \neq r'$. Данные СИПР представлены множеством прецедентов P .

$$P = \{\langle s_1, r_1 \rangle \langle s_2, r_2 \rangle \dots \langle s_n, r_n \rangle\} \quad (4.8)$$

Каждый прецедент P_i будем рассматривать как условную импликацию $s_i \Rightarrow r_i$.

Таким образом, если задана некоторая ситуация $S \approx S_j$ и существует прецедент $P_j = \langle s_j, r_j \rangle$, можно утверждать, что r_j является приближённым (или правдоподобным) решением для ситуации S . Более того, чем ближе ситуация S

к ситуации s_j , и соответственно, оценки близости решения r_j к искомому, то используется функция подобия φ_i . На её основе строятся отношения подобия между прецедентами и выводится мера подобия SIM. Отношение подобия может быть построено только для множества входных факторов аварийной ситуации. СИППР представляет собой структуру $\langle P, Sim_\Omega, K \rangle$, где P - библиотека прецедентов; Sim_Ω - мера таксономического подобия, заданная на множестве интерпретаций (экземпляров) Ω языка представления знаний о ПрО, описывающего аварийные ситуации на шахте, K - множество аналитических зависимостей для ПрО.

Множество K составляет часть базы знаний о ПрО, полученную экспертным путём, на основании нормативных документов и посредством имитационного моделирования. Для каждого прецедента можно с помощью оценки подобия вычислить степень уместности решения r_j в ситуации, близкой к s_j .

В случае, если для этого можно также использовать имеющиеся знания о ПрО, можно утверждать, что формула

$$K \rightarrow (S \rightarrow \Psi_{Sim_i} S_i), \quad (4.9)$$

выполнима для класса ситуаций S_p .

Через библиотеку прецедентов задаётся экстраполяция отношения импликации для (4.5). Она же является базой знаний, содержащей приближённые импликации:

$$M^* = \{s_i \Rightarrow (\xi_i, r_i) \mid (s_i, r_i) \in p\} \quad (4.10)$$

Соответственно формула:

$$M^* \rightarrow (s_i \Rightarrow \xi_i, r_i) \quad (4.11)$$

Также она выполнима для класса ситуации S_p .

Итак, прецедентная система ППР выполняет функцию вывода по аналогии:

$$\{K \rightarrow (\Psi_{Sim_i} S_i)\}_{i=1 \dots n} \cup \{K, M^*, S\} \succ \Psi_{Sim_i} \otimes \xi_i, r_i \quad (4.12)$$

где $M^* = \{s_i \Rightarrow (\xi_i, r_i) \mid (s_i, r_i) \in p\}$ - приближённые импликации; Здесь r_i - решение при аварийной ситуации s_i в прецеденте p_i ; ξ_i - коэффициент приближения; K - множество аналитических зависимостей для ПрО; S - множество аварийных ситуаций; Ψ_{Sim_i} - функция подобия. В случае если найденный прецедент не

является полным аналогом текущей ситуации, выполняется адаптация - модификация решения.

На рис. 4.15 приведён пример вывода по аналогии при разгазировании аварийного участка шахты.

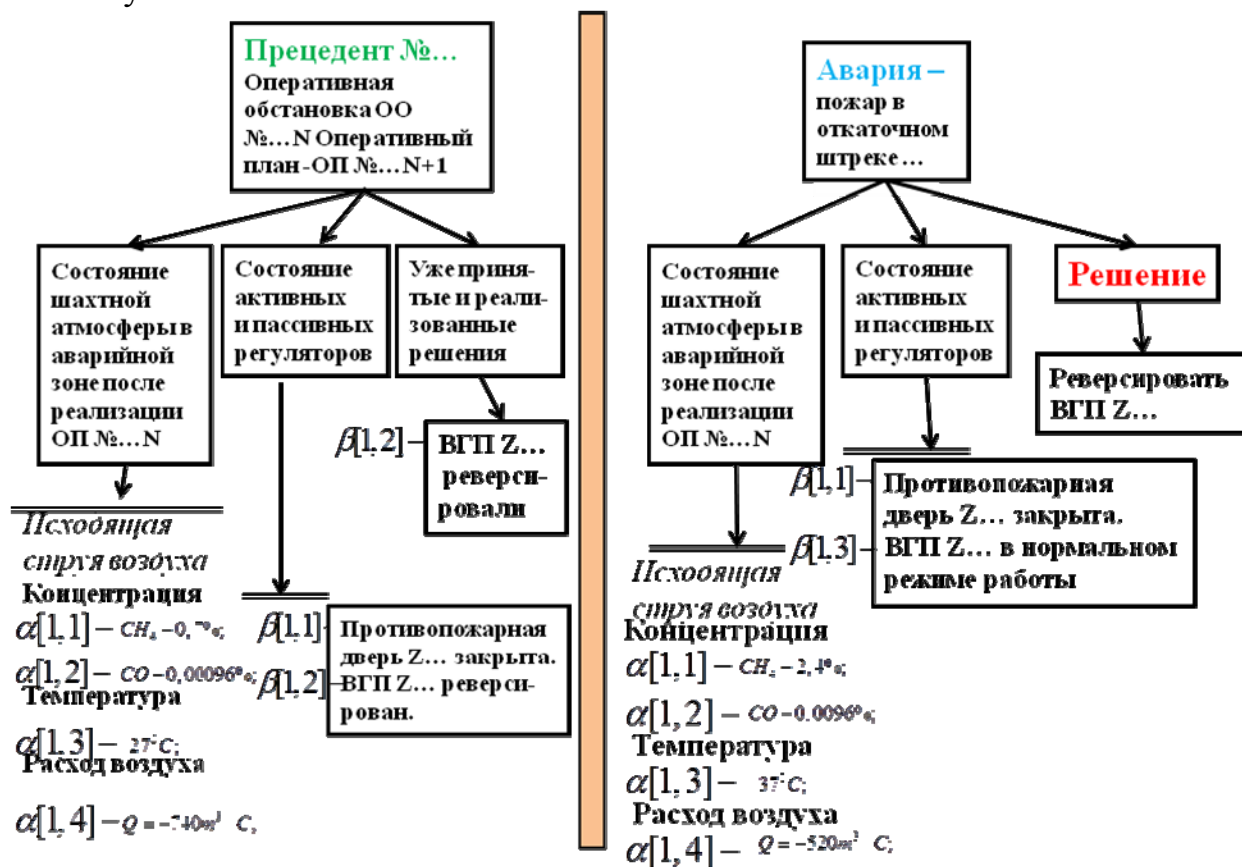


Рис.4.15. Вывод решений по аналогии

Адаптация прецедентов

При решении задачи поиска прецедентов, аналогичных текущей задаче формирования оперативных планов ликвидации пожаров на шахтах, предлагается использовать весовую метрику алгоритма анизотропной, ассиметричной метрики (ААсМ) [39]. Этот алгоритм относится к классу самообучающихся, так называемых "ленивых" алгоритмов, основанных на метрике ближайшего соседа (&-NN), автоматически определяющих релевантные атрибуты и корректирующих их веса в зависимости от того, насколько схож найденный экземпляр прецедента с текущей задачей.

Выбор весовой метрики ААсМ, для решения задачи поиска аналогичных прецедентов, обусловлен результатами сравнительного анализа ААсМ с другими алгоритмами, приведенного в [39].

Пусть, A - пространство всех возможных оперативных задач (в нашем случае – задач a , имеющих одинаковые атрибуты) $A = F_1 \times \dots \times F_N$, где F_i - либо интервал $[0, 1]$, либо конечное множество значений i -го атрибута.

Обозначим через $\bar{A} \subset A$ множество прецедентов a^* , находящихся в базе знаний, $\bar{A} = \{x_1, \dots, x_M\}$ и $\forall x_i = (x_{i1}, \dots, x_{iN}) \in \bar{A}$, а через $y_i = (y_{i1}, \dots, y_{iN}) \in A$ описание образца a .

Тогда для нахождения ближайшего к задаче a прецедента a^* можно использовать меру сходства $d_i : F_i \times F_i \rightarrow R \geq 0$, которая по каждому F_i , определяется следующим образом:

$$d_i(x_i, y_i) = \left\{ \begin{array}{l} |x_i - y_i|, \text{ если } F_i = [0, 1]; \\ |x_i - y_i|, \text{ если } F_i = [0, 1]; \\ 0, \text{ если } F_i \text{ - конечно и } x_i \neq y_i; \\ 1, \text{ если } F_i \text{ - конечно и } x_i = y_i, \\ 1, \text{ если } F_i \text{ - конечно и } x_i = y_i. \end{array} \right.$$

В работе [83] предлагается вместо метрики: $d(x, y) = \left(\sum_{i=1}^N d_i(x_i, y_i)^p \right)^{1/p}$, в пространстве $A = F_1 \times \dots \times F_N$, т.е. обычной линейной метрики L^p в пространстве A , использовать новую взвешенную метрику $\partial_i : F_i \times F_i \rightarrow R \geq 0, F_i = [0, 1]$:

$$\partial_i(x, y) = \frac{p_i(x - y), \text{ где } x \geq y}{q_i(y - x), \text{ где } x < y},$$

где $p_i, q_i \in [0, 1]$ - соответственно, левый и правый вес i -го атрибута.

Взвешенная метрика $\partial_i(x, y)$ всегда может быть определена не только для $F_i = [0, 1]$, но и для F_i , имеющего множество конечных значений. Однако в нашем случае, поскольку отношение порядка не принципиально, можем записать:

$$\partial_i(x, y) = w_i d_i(x, y), \text{ где } w_i = p_i = q_i.$$

При необходимости метрика ∂_i , для отдельных прецедентов может быть расширена до взвешенной метрики L^p в пространстве C .

Допустим, \bar{A} - подмножество множества A , $\bar{A} = \{x_1, \dots, x_N\}$ и для каждой $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{iN}) \in \bar{A}$ примем $p_i = (p_{i1}, \dots, p_{iN})$ и $q_i = (q_{i1}, \dots, q_{iN})$ - два вектора в $[0, 1]^N$. Предположим далее, что $p_i = q_i$ если F_i , конечно. Две матрицы $|p_{ij}|$ и $|q_{ij}|$ называются системой весов w для множества прецедентов \bar{A} . Другими

словами, система весов - это точка в пространстве $[0,1]^{2M|C|} = W$. Тогда, анизотропная и асимметричная метрика на $\bar{A} \times A, \partial: \bar{A} \times A \rightarrow R_{\geq 0}$, имеет вид:

$$\partial(x_i, y) = \left(\sum_{j=1}^N w_{ij} d_j(x_{ij}, y_j)^p \right)^{1/p}, \text{ где}$$

$$w_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} p_{ij}, \text{ если } x_{ij} \geq y_j \text{ и } F_j = [0,1]; \\ q_{ij}, \text{ если } x_{ij} < y_j \text{ и } F_j = [0,1]; \\ p_{ij} = q_{ij}, \text{ если } F_j \text{ конечно.} \end{array} \right\}$$

Процедура обучения системы весовых коэффициентов.

Цель данной процедуры – настройка системы весов таким образом, чтобы функция возврата ближайшего прецедента действительно находила наиболее схожий с данным образцом прецедент. Процедура настройки весов (обучения) итеративно изменяет веса в системе весов w , в пространстве прецедентов \bar{A} .

Шагом обучения весов является отображение $T: W \times A \rightarrow W$.

Пусть $w=(p,q)$ - существующая система весов и $y=A \setminus \bar{A}$. Тогда новая система весов $w'=(p',q')$ получается из w применением функции T , т.е. $(p',q')=T(p,q,y)$.

Процедура обучения – это алгоритм, итеративно выбирающий прецедент и вызывающий шаг обучения для этого прецедента, пока не выполнится условие для выхода из алгоритма.

При обучении рассматриваются два варианта:

Вариант 1. Найденный прецедент x_i , схож с образцом y_i :

Если: $F_i = [0,1]$, то

$$p'_{ij} = T_{ij}(p_{ij}, y_j) = \left\{ \begin{array}{l} p_{ij} - \eta p_{ij} |x_{ij} - y_j|, \text{ если } x_{ij} \geq y_j; \\ p_{ij}, \text{ если } x_{ij} < y_j. \end{array} \right\}$$

$$q'_{ij} = T_{ij}(q_{ij}, y_j) = \left\{ \begin{array}{l} q_{ij} - \eta q_{ij} |x_{ij} - y_j|, \text{ если } x_{ij} < y_j; \\ q_{ij}, \text{ если } x_{ij} \geq y_j. \end{array} \right\}$$

Если F_i - конечное множество значений, то

$$w_{ij} = T_{ij}(w_{ij}, y_j) = \left\{ \begin{array}{l} w_{ij} - \alpha w_{ij}, \text{ если } x_{ij} \neq y_j; \\ w_{ij}, \text{ если } x_{ij} = y_j. \end{array} \right\}$$

Вариант 2. Найденный прецедент x_i , не схож с образцом y :

Если $F_i = [0,1]$, то

$$\left. \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} p_{ij} + (\mu(1 - p_{ij}) / (1 + |x_{ij} - y_j|), \text{ если } x_{ij} \geq y_j; \\ p'_{ij} = T_{ij}(p_{ij}, y_j) = p_{ij}, \text{ если } x_{ij} < y_j. \end{array} \right\} \\ \left. \begin{array}{l} q_{ij}, \text{ если } x_{ij} \geq y_j; \\ q'_{ij} = T_{ij}(q_{ij}, y_j) = q_{ij} + (\mu(1 - q_{ij})) / (1 + |x_{ij} - y_j|), \text{ если } x_{ij} < y_j. \end{array} \right\} \end{array} \right\}$$

Если F_i – конечное множество значений, то

$$w'_{ij} = T_{ij}(w_{ij}, y_j) = \left. \begin{array}{l} w_{ij} + \mu(1 - w_{ij}) / 2, \text{ если } x_{ij} \neq y_j; \\ w_{ij}, \text{ если } x_{ij} = y_j. \end{array} \right\}$$

В приведенных формулах $\eta \in [0,1]$ и $\mu \in [0,1]$ – так называемые коэффициенты поощрения и наказания соответственно. Каждый обучающий шаг изменяет не более N параметров.

Алгоритм настройка системы весов, реализуется в виде процедуры Learning-Path:

Procedure Learning-Path ($p(Q), q(0), T$):

for $i \leftarrow 1$ until M do for $j := 1$ until N do begin $p_{ij} := p_{ij}(0)$ $q_{ij} := q_{ij}(0)$ end for while not Exit-Condition $y := \text{Random}(A \setminus \bar{A})$ $p_{ij} := T_{ij}(p_{ij}, y_j)$ $q_{ij} := T_{ij}(q_{ij}, y_j)$ end while end

Learning-Path, где $\text{Random}(A \setminus \bar{A})$ – процедура выбора случайного элемента в $(A \setminus \bar{A})$ в (обучающей выборке); $p(0)$ и $q(0)$ – начальные значения весов;

Exit-Condition – условие выхода из процедуры Learning-Path.

Условиями выхода из процедуры обучения являются либо сделано заданное число шагов, или точность достигла некоторой заданной величины.

Значения весов $p(0) = 0,5$ и $q(0) = 0,5$ выбраны с учетом их возможной динамики, как в сторону увеличения, так и уменьшения. При проведенной нами экспериментальной проверке скорости схождения алгоритма выбирались следующие значения $\eta = 0,5$ и $\mu = 0,5$.

В случае, если найденный прецедент не является полным аналогом (подобным – like – «Lik») текущей ситуации, должна выполняться адаптация – модификация решения, которое имеется в выбранном прецеденте и направлено на решение целевой проблемы. Невозможно выработать единый вариант для такой адаптации, так как это в большой степени зависит от прикладной области. Если существуют алгоритмы адаптации, они обычно предполагают

наличие зависимости между признаками прецедентов и признаками содержащихся в них решений. Такие зависимости могут задаваться человеком при построении базы прецедентов или обнаруживаться в базе автоматически методами добычи знаний. В данном случае модификация решения включает интерполяцию числовых признаков, полученных на основании целенаправленной обработки протоколов успешно ликвидированных пожаров на шахтах Украины, а также использования метода редукции при нахождении решений для текущей оперативной задачи подразделениям горноспасателей [87,88].

Специализированный редактор онтологии (библиотеки) прецедентов позволяет эксперту вводить знания в терминах исследуемой предметной области. При этом редактор обеспечивает возможность формулировать вопросы к эксперту, помогая ему, тем самым, определить те знания ПС, которые необходимы в данный момент. Конечным продуктом порождения является база знаний о прецедентах, которые были внесены в онтологию (рис.4.16).

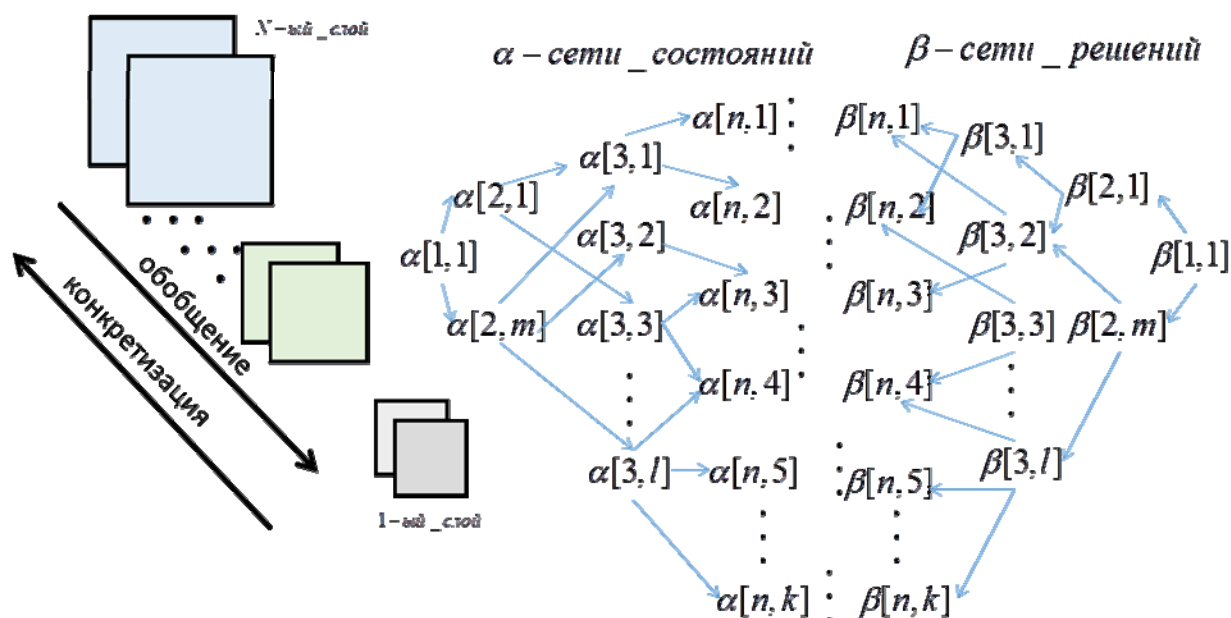


Рис. 4.16. Обобщённая структура и сетевая модель библиотеки прецедентов (база знаний)

После того, как выбран подходящий прецедент, при поиске решения для целевой проблемы выполняется адаптация – модификация имеющегося в нем решения с целью его оптимизации. Невозможно выработать единый вариант для такой адаптации, так как это в большой степени зависит от предметной области. Если существуют алгоритмы адаптации, они обычно предполагают наличие зависимости между признаками прецедентов и признаками содержащихся в них решений. Такие зависимости могут задаваться человеком при построении базы прецедентов или обнаруживаться в базе автоматически.

В данном случае оценка влияния принимаемых решений на параметры аварийного объекта производилась путём подсчёта вероятностной частоты использования конкретного решения в однотипных аварийных ситуациях. Взаимовлияние принимаемых решений на аварийные параметры представлены на рис. 4.17. Аналитически это выглядит следующим образом:

$$\text{Матрица_влияний} - \mathfrak{R} = \left\| \begin{array}{l} IF \Delta\beta_{(1,1)} THEN [\gamma_{(1,1)} \Delta\alpha_{(1,1)} \cap \gamma_{(1,2)} \Delta\alpha_{(1,2)} \cap \dots \cap \gamma_{(1,n)} \Delta\alpha_{(1,n)}]; \\ IF \Delta\beta_{(2,1)} THEN [\gamma_{(2,1)} \Delta\alpha_{(2,1)} \cap \gamma_{(2,2)} \Delta\alpha_{(2,2)} \cap \dots \cap \gamma_{(2,n)} \Delta\alpha_{(2,n)}]; \\ \dots \\ IF \Delta\beta_{(k,1)} THEN [\gamma_{(k,1)} \Delta\alpha_{(k,1)} \cap \gamma_{(k,2)} \Delta\alpha_{(k,2)} \cap \dots \cap \gamma_{(k,n)} \Delta\alpha_{(k,n)}] \end{array} \right\|, \quad (4.9)$$

где $\Delta\beta_{(i,j)}$ – изменение в управляющем воздействии (решение);

$\Delta\alpha_{(i,j)}$ – изменение в атрибутах (параметрах) экземпляров аварийных ситуаций;

$\gamma_{(i,j)}$ – оператор влияния решения на параметр. Если решение не влияет на параметр, то $\gamma_{(i,j)} = 0$;

$k \neq n$ – соответственно, количество управляющих воздействий (решений) k не равно числу атрибутов n экземпляра аварийной ситуации.

Свёрнутые импликации для этого случая выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta\alpha[i_S, j_S]_{(1)} &\Leftarrow \gamma_{i,j} \Delta\beta[i_P, j_P]_{(1)}; \\ \Delta\alpha[i_S, j_S]_{(2)} &\Leftarrow \gamma_{i,j} \Delta\beta[i_P, j_P]_{(1)} \cap \gamma_{i,j} \Delta\beta[i_P, j_P]_{(2)}; \\ \dots \\ \Delta\alpha[i_S, j_S]_{(t)} &\Leftarrow \gamma_{i,j} \Delta\beta[i_P, j_P]_{(1)} \cap \gamma_{i,j} \Delta\beta[i_P, j_P]_{(2)} \cap \dots \cap \gamma_{i,j} \Delta\beta[i_P, j_P]_{(u)}, \end{aligned}$$

где t – число регулируемых параметров; u – количество решений.

Для двух решений и одного регулируемого параметра система импликаций (4.9) будет выглядеть следующим образом:

$$if \{ \Delta\beta[i_P, j_P]_{(1)} \} \Rightarrow then \{ [\gamma_{i,j(1)} + \gamma_{i,j(2)} + \gamma_{i,j(1)} \times \gamma_{i,j(2)}] \times [\Delta\alpha[i_S, j_S]_{(1)} \cap \Delta\alpha[i_S, j_S]_{(2)}] \}, \quad (4.10)$$

где $\Delta\beta[i_P, j_P]_{(1)}$ – решение (1) в прецеденте;

$\Delta\alpha[i_S, j_S]_{(2)}$ – изменение 2-го параметра (атрибута) аварийного объекта.

В табл. 4.1 приведены на уровне лингвистических переменных значения операторов $\gamma_{(i,j)}$ с учётом их взаимовлияния.

Взаимовлияние для двух решений

$\gamma_{i,j(1)} \backslash \gamma_{i,j(2)}$	Сильно положит. влияет (++)	Слабо положит. влияет (+)	Не влияет (0)	Слабо отриц. влияет (-)	Сильно отриц. влияет (--)
Сильно положит. влияет (++)	(++++)	(+++)	(++)	(-)	(0)
Слабо положит. влияет (+)	(+++)	(++)	(+)	(0)	(-)
Не влияет (0)	(++)	(+)	(0)	(-)	(--)
Слабо отриц. влияет (-)	(+)	(0)	(-)	(--)	(---)
Сильно отриц. влияет (--)	(0)	(-)	(--)	(---)	(----)

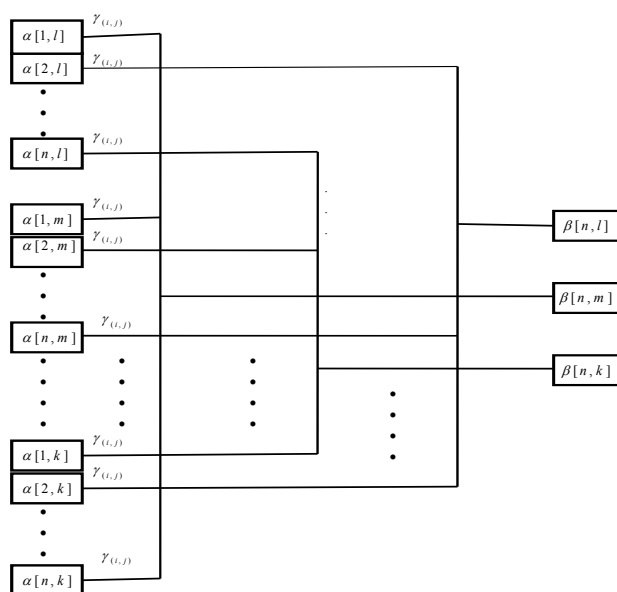
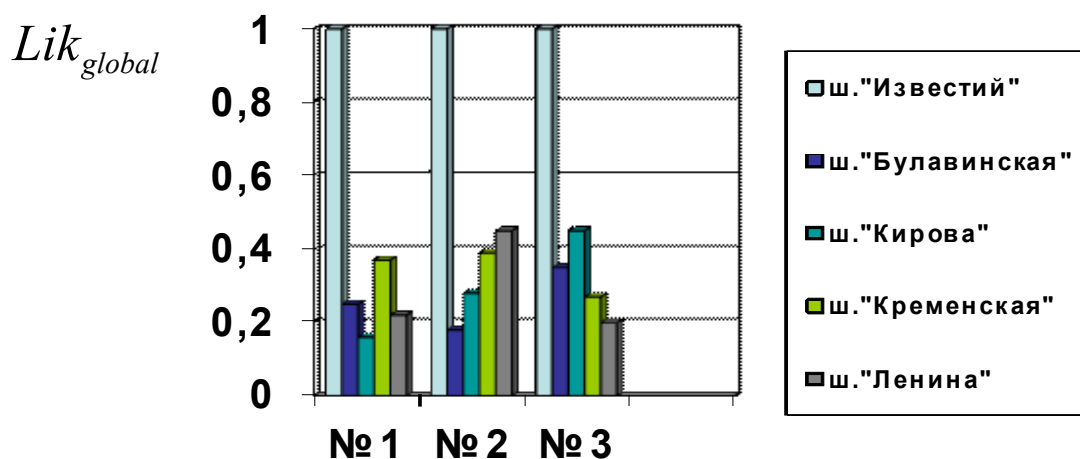


Рис. 4.17. Сеть взаимовлияний решений на параметры объекта управления

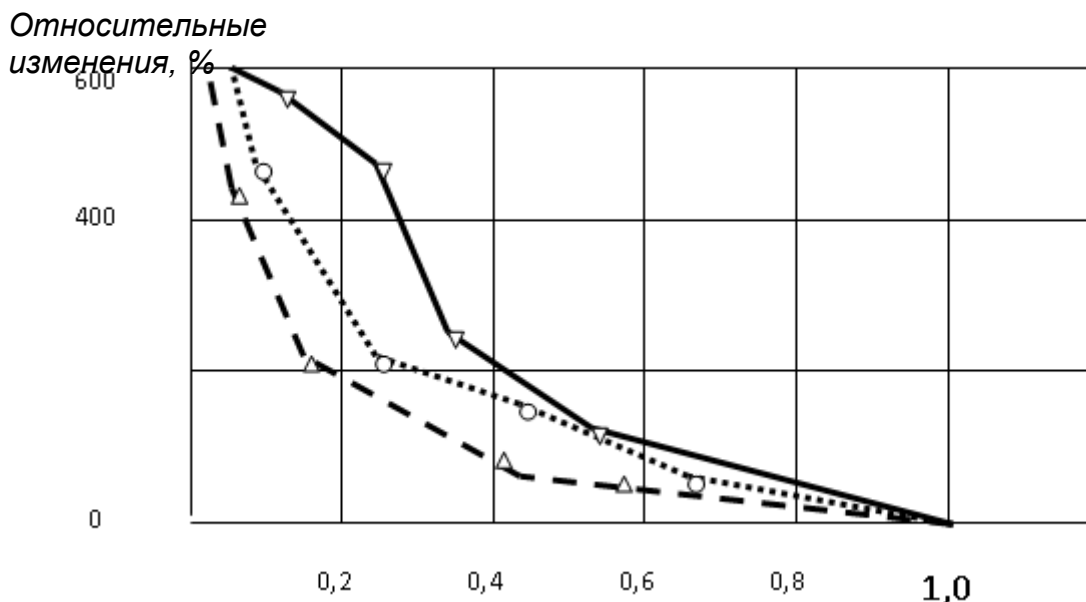
Сложность такой аппроксимации взаимовлияния решений на параметры состоит в наличии высших составляющих приращений, но суммарное влияние в относительных величинах не должно превышать единицы. При исследовании числовых признаков интерполяции решений было исследовано около тридцати протоколов успешно ликвидированных аварий. Предварительно содержание протоколов были представлены в виде сетевых моделей данных. Объем информации исчислялся 254 фрагментами данных. При этом информация исследовалась по следующим основополагающим направлениям: сложности ведения горноспасательных работ, используемым силам и средствам,

атмосферным условиям ведения горноспасательных работ и т.п. На рис.4.18 приведены некоторые результаты этих исследований. Поиск соответствия аварийных ситуаций производился относительно пожара на шахте им. «Известий». Работа проводилась на выборке более 30 прецедентов с доверительной вероятностью 0,95. Результаты приведены на рис. 4.19 и в приложении Н.



№ 1- глобальная мера сходства аварийных ситуаций по используемым силам;
 № 2 – по используемым средствам;
 № 3 – по сложности ведения горноспасательных работ.

Рис. 4.18. Глобальная мера сходства аварийных ситуаций на шахтах



▽ - относительные изменения в количестве отделений горноспасателей;
 △ - относительные изменения в сложности проведения оперативных работ по ликвидации пожаров;
 ○ - относительные изменения в количестве и виде средств используемых для тушения пожаров.

Рис. 4.19. Результаты сравнительного анализа прецедентов

4.6. Продукционно-фреймовая модель представления знаний в системе интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации пожаров на шахтах

Для представления знаний в разрабатываемой системе предлагается использовать продукционно-фреймовую структуру, моделирующую статические знания о предметной области, в виде значений слотов фреймов, отражающие состояние системы в определённый момент времени, а также динамические знания в виде процедур – продукций, отражающие переходы между состояниями системы. В большинстве систем множество фреймов описывается в базе знаний и остаётся более или менее постоянным в процессе решения, однако следует отличать такие знания (назовём их структурными F_{SS}) от множества атрибутов задачи, соответствующих рабочей памяти и представляемых значениями слотов всех фреймов (множество F_{SI} или состоянием рабочей памяти). Таким образом, база знаний состоит из структурной F_{SS} и процедурной (или динамической) F_D составляющих. Рабочая память состоит из множества значений слотов F_{SI} и некоторой структурной составляющей F_{SS2} . Такая внутренняя организация сохраняется как для фреймов структур, так и для фреймов динамических типов. Важнейшим свойством теории фреймов является наследование свойств, заимствованное из теории семантических сетей. И во фреймах, и в семантических сетях наследование происходит по АКО - связям (A-Kind-Of - этот Слот АКО указывает на фрейм более высокой иерархии), откуда неявно наследуются, т. е. переносятся, значения аналогичных слотов. Так, тип фрейма «горная выработка с большим или частым пребыванием большого количества людей», в данном случае наследуется от фрейма «горная выработка». В свою очередь, от второго фрейма наследуется ряд других и т. д. Тип фреймов, которые не наследуются ни от каких других, называются базовыми. На рис.4.20 представлен простейший пример иерархии фреймов с продукционными правилами, сгруппированными в виде присоединённых процедур. А на рис. 4.21 изображен пример иерархии фреймов с базовым типом фрейма «Объект ПрО». Для моделирования состояния оперативной обстановки определим множество базовых фреймов прототипов. Более подробное описание этой базы знаний приведено в Приложении I.

В табл. 4.2. приведены классы онтологической базы знаний СИППР при ликвидации пожаров. Концептуальная схема продукционно-фреймовой модели представления знаний ПрО представлена в виде набора классов, реализуемых на любом объектно-ориентированном языке (Delphi, C++). Для построения модели использовались элементы языка моделирования UML [79].

Все классы неявно унаследованы от общего родителя T Object. Основными функциями этого объекта является создание и удаление экземпляров соответствующих классов, в т.ч. экземпляров фреймов. База знаний структурно представляет собой множество экземпляров классов, обеспечивающих основную функциональность подсистемы.

Суммарное количество элементов в базе знаний СИППР при ликвидации пожаров на шахтах составляет примерно 3826500.

Количество свойств (параметров) достигает 200000000.

4.7. Принципы построения и архитектура СИППР для органов управления при ликвидации аварий

В решении проблемы информационного обеспечения органов управления при ликвидации аварий важную роль играет выбор общей концепции для создания системы интеллектуальной поддержки принятия решений. При этом для этого могут быть предложены два варианта концепции:

- создание «полной», или «глобальной», интеллектуальной информационной системы, имеющей информационную базу, охватывающую все направления работы должностных лиц органов управления;

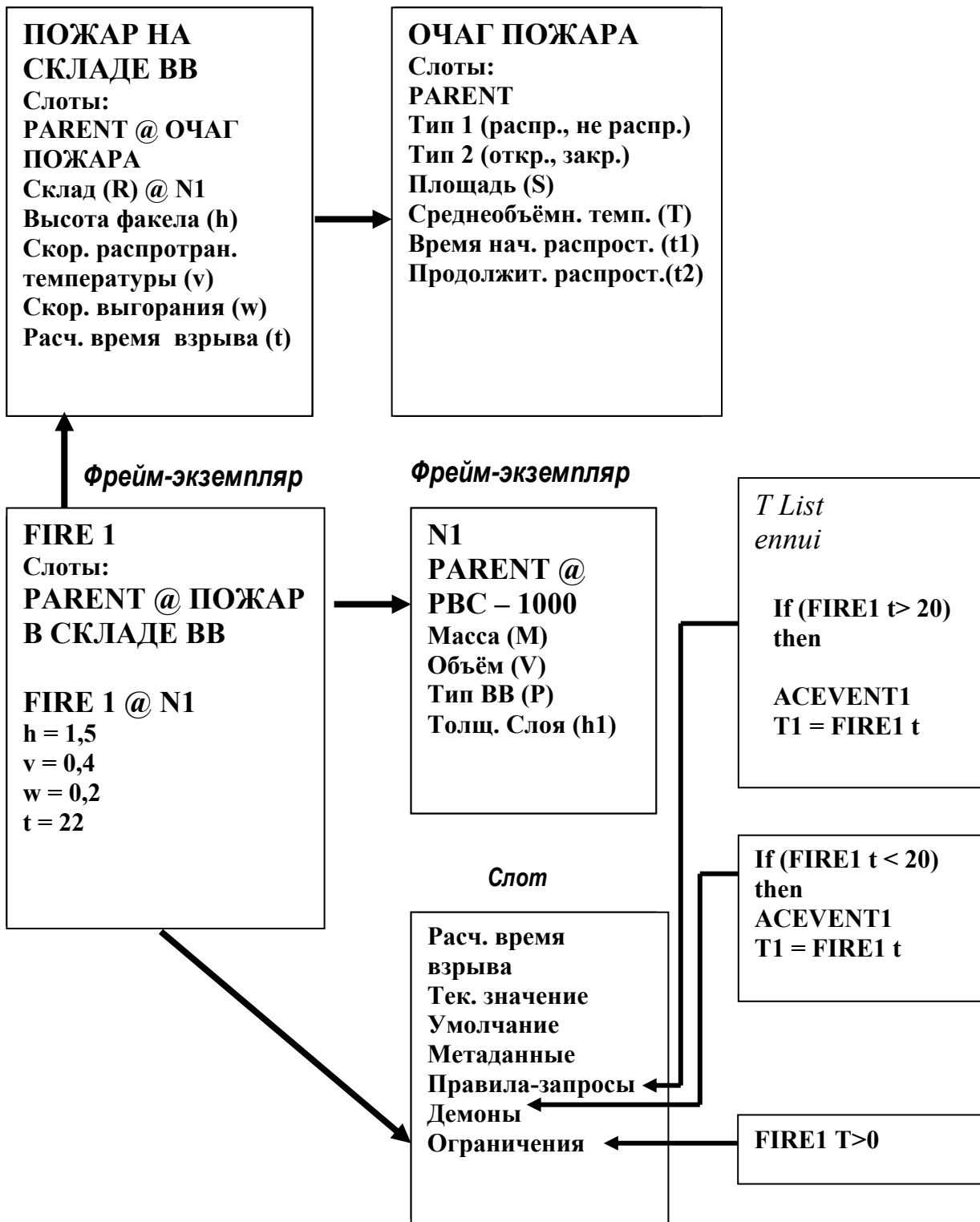


Рис. 4.20. Простейший пример иерархии фреймов с продукционными правилами, сгруппированными в виде присоединённых процедур



Рис. 4.21. Пример иерархии фреймов с базовым типом фрейма «Объект»

Классы онтологической базы знаний СИППР при ликвидации пожаров

Классы	Число объектов в классе	Количество атрибутов (параметров) в объекте	Число элементов в базе
1. Горные выработки	До 200	До 10	2000
2. Подземные и наземные сооружения	До 100	До 10	2000
3. Технологические системы	До 100	До 20	2000
4. Средства спасения людей	До 100	До 25	2500
5. Средства пожаротушения	До 50	До 30	1500
6. Способы ликвидации аварии	До 40	До 25	1000
.....
12. Участки горных выработок	До 3000	До 10	30000
13. Планы ликвидации аварий	До 100	До 500	50000
14. Маршруты эвакуации людей	До 700	До 10	7000
15. Маршруты движения горноспасателей	До 500	До 10	5000
16. Организационные мероприятия	До 100	До 100	10000
.....
19. Технические мероприятия	До 100	До 50	5000
20. Оперативные планы	До 500	До 100	50000
21. Аварийные параметры α	До 100	До 10	1000
22. Решения β	До 100	До 10	1000
23. Прецеденты	До 1000	До 100	100000
24. Оперативные действия	До 50	До 40	2000
28. Причинно-следственные отношения	До 200	До 10	2000
29. Базовые понятия и определения	До 500	До 5	2500
.....
36. Причины событий	До 100	До 10	1000
37. Единые правила безопасности...	До 3000	До 20	60000
38. Устав ГВГСС	До 1000	До 30	30000
39. Нормативные документы	До 1000	До 40	40000
40.

- построение СИППР как совокупности логически взаимосвязанных функциональных информационных подсистем, основывающихся на общей концепции совершенствования информационного обеспечения для должностных лиц органов управления при ликвидации аварий.

Принцип построения СИППР как совокупности логически взаимосвязанных модулей, разделённых по функциональному признаку и реализующих решение основных задач системы, обеспечивается следующими функциональными подсистемами (рис.4.22):

- подсистемой информационно справочной поддержки принятия управленческих решений;
- подсистемой информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений;
- подсистемой генерации проектов управленческих решений на основе прецедентов.

В СИППР также входит обслуживающая подсистема – подсистема создания и корректировки баз нормативно-справочной информации.

В разработанной автором системе интеллектуальной поддержки управленческих решений при ликвидации аварий пожаров функциональные подсистемы СИППР реализованы в виде соответствующих функциональных комплексов (ФК) и функциональных задач (ФЗ).

В настоящее время процесс создания и применения программных комплексов и баз данных информационных систем регламентируется различными отечественными и зарубежными стандартами и профилями жизненного цикла программных средств.

Результаты проведенных исследований и практическая работа по созданию СИППР РЛА [89-92] позволяют разработать методiku проектирования СИППР РЛА, которая, сохраняя классическую структуру процесса разработки информационной системы, содержит технологические решения реализации отдельных этапов аналитического исследования ПрО, проектирования и создания СИППР РТП с использованием аккумулированного в базе знаний опыта (прецедентов). Весь цикл работ по созданию СИППР РТП разбивается на три перекрывающиеся стадии: аналитическое исследование предметной области, проектирование системы, разработка системы.

Очевидно, что информационная поддержка управленческих решений с использованием компьютерных технологий актуальна не только при тушении пожаров, но вообще при ликвидации последствий техногенных аварий на шахтах. Оперативная обстановка при тушении пожара быстро меняется, создавая необходимость постоянного обновления исходных данных для их последующей обработки на компьютере.

Указанные выше особенности предметной области должны учитываться при выборе методов и алгоритмов, используемых с целью информационной поддержки лиц принимающих решения. Так при проектировании СИППР при тушении пожаров на шахтах необходимыми условиями являются:

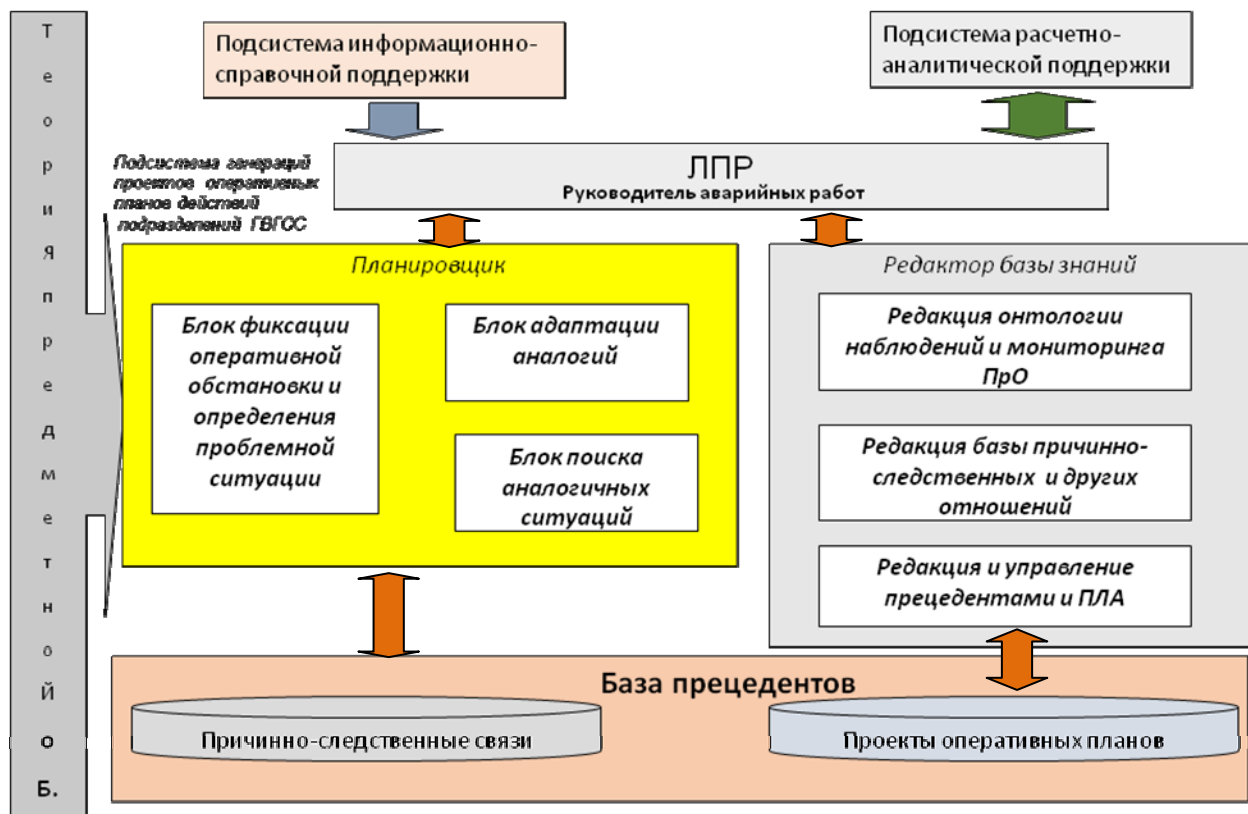


Рис. 4.22. Структура системы интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах

- возможность быстрого ввода в ЭВМ исходных данных;
- возможность быстрой их обработки ЭВМ и вывода результата.

Анализ особенностей процесса принятия решений при тушении пожаров на шахтах показал, что целесообразно:

- в качестве основы для обеспечения интеллектуальной поддержки принятия решений должностными лицами органов управления при тушении пожаров использовать методы и алгоритмы на основе технологии CBR;
- разрабатывать инструменты автоматизированного формирования проектов планов оперативных действий;
- повторно использовать знания об устойчивых причинно-следственных связях между различными явлениями и событиями, имеющими место при тушении пожаров и ликвидации последствий аварийных ситуаций.

Формализованная концептуальная модель (онтология) ПрО позволяет декларативным образом, допускающим повторное использование знаний, описать предметную область, соответствующие словари типов, ограничение использования этих данных, в предположении понимания того, что может быть выведено из этого описания. Место онтологии во взаимодействии пользователя показано на рис.4.23 [92].

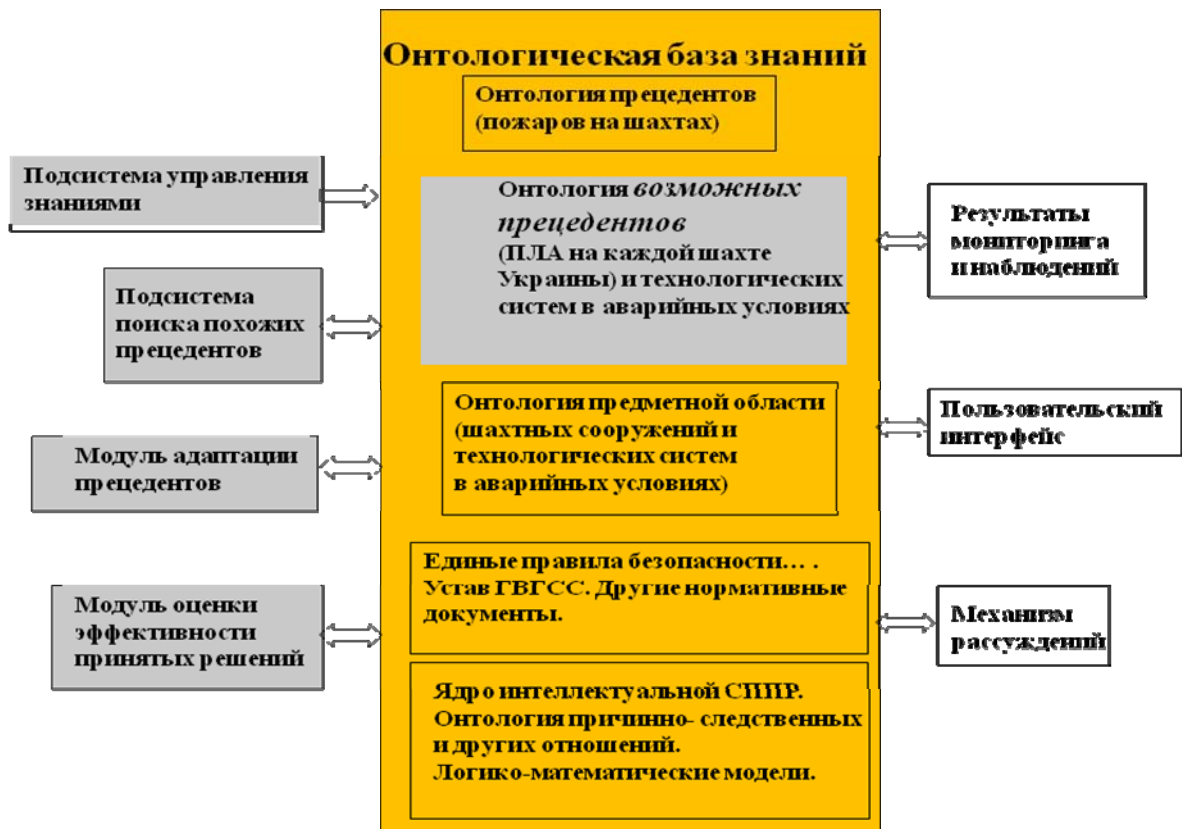


Рис. 4.23. Место онтологии во взаимодействии пользователя с СИППР

4.8. Выводы по четвёртой главе

1. В данной главе были предложены алгоритмы формирования планов оперативных действий подразделений ГВГСС с использованием аккумулярованных в базе знаний прецедентов, основанные на методах иерархического сетевого планирования. Это позволяет учесть специфику исследуемой предметной области и дает возможность реализации неполной базы знаний, используемой при генерации оперативных планов. При этом план может состоять как из элементарных, так и составных задач.

2. Поиск нахождения решения оперативной задачи производится не последовательным перебором имеющихся в базе данных методов, а используется критерий близости с прецедентом в базе знаний, что позволяет повысить оперативность управленческих решений.

3 Предложена продукционно-фреймовая модель представления знаний, используемых в системе интеллектуальной поддержки принятия решений при тушении пожаров на шахтах. Концептуальная схема продукционно-фреймовой модели для представления знаний ПрО представлена в виде набора классов, что дает возможность ее реализации на любом объектно-ориентированном языке (Delphi, Java, C++).

Разработана СИППР, в состав которой входят следующие основные подсистемы: подсистема информационно-справочной поддержки принятия управленческих решений, подсистема информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений, подсистема генерации проектов управленческих решений на основе прецедентов. Разработана сетевая модель, обеспечивающая формализацию процесса ввода в базу знаний системы опыта специалистов исследуемой ПрО, что позволяет создать интеллектуальную систему поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе решена актуальная научно-практическая задача в области автоматизации процессов управления – разработан метод и система интеллектуальной поддержки принятия решений на основе представления аварийной ситуации в виде онтологической базы знаний, которая формируется на основе лингвистической информации об истории аварийных ситуаций, информации мониторинга, регламентирующей информацией, а управляющие воздействия формируются в виде логических операций над лингвистическими структурами онтологической базы знаний, что обеспечивает повышение скорости принятия решений при ликвидации аварий и идентификации прецедентов аварийных ситуаций, которая осуществляется по интегральным и дифференциальным критериям подобия аварии и прецедентов с учетом регрессионных связей между значениями контролируемых параметров и принимаемыми решениями, что, в отличие от известных методов, позволяет увеличить точность описания аварийных прецедентов и повышает оперативность, достоверность и эффективность принятых решений.

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований были получены следующие научные выводы и результаты.

1. Проведен анализ содержания и специфики процесса разработки и принятия управленческих решений существующими организационными структурами ГВГСС, руководителями ликвидации аварий, решающими оперативно-тактические задачи при тушении пожаров на шахтах. Рассмотрены факторы, влияющие на неопределенности при разработке управленческих решений должностными лицами органов управления силами и средствами на пожаре, дана классификация ошибок в управленческой деятельности руководителей тушения пожаров на шахтах.

2. На основе концептуального представления предметных задач впервые построена онтологическая модель предметной области «Система интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации пожаров на шахтах», состоящая из четырех взаимосвязанных по смыслу частей:

- «Онтологическая модель процесса управления действиями подразделений ГВГСС при тушении пожаров на шахтах»;

- «Онтологическая модель возможных аварий (планов ликвидации аварий) на шахтах».

- «Онтологическая модель причинно-следственных отношений, имеющих место в процессе развития оперативной обстановки при тушении пожаров на шахтах».

- «Онтологическая модель базы знаний об управляемости технологическими системами при ликвидации аварий на конкретной шахте».

Построенная онтология предметной области является базисом, обеспечивающим:

- формализацию процесса ввода, накопления в базе знаний опыта лучших специалистов по оперативному управлению формированиями ГВГСС при тушении пожаров на шахтах;

- разработку подсистемы для генерации проектов тактических планов при тушении пожаров на шахтах с использованием, имеющихся в базе знаний, прецедентов.

3. Разработан метод автоматизированного формирования проектов тактических планов, обеспечивающий использование аккумулированного в базе знаний опыта управления действиями подразделений ГВГСС при тушении конкретных пожаров на шахтах, что обеспечивает оперативность и достоверность принимаемых решений.

4. Разработана продукционно-фреймовая модель представления знаний, используемых в системе интеллектуальной поддержки принятия решений при тушении пожаров на шахтах. Концептуальная схема продукционно-фреймовой модели представления знаний ПрО представлена в виде диаграммы классов в UML-нотации, что дает возможность ее реализации на любом объектно-ориентированном языке.

5. На основе предложенного в работе формального аппарата разработана модель процесса ввода в информационную систему знаний экспертов исследуемой предметной области. Данная модель представляет собой семантическую сеть, что позволяет определить помощью правил порождения, на каком этапе должны быть получены те или иные знания.

6. Предложены принципы построения и разработана архитектура системы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров, что повышает эффективность и достоверность решений, принимаемых должностными лицами органов управления при ликвидации аварий на шахтах, за счет автоматизации процесса аккумулирования опыта специалистов и повторного его использования при предварительном планировании оперативно-тактических действий подразделений ГВГСС.

7. Для поддержки принятия решений при управлении технологическими и организационными системами шахт при ликвидации аварий используется текстовая информация, содержащаяся в ПЛА. Это дает возможность преобразовывать лингвистическую информацию посредством использования простых нечётких логических операций пересечения, объединения, конкретизации и обобщения и разности, что обеспечивает повышение оперативности принятия решений в экстремальных ситуациях.

8. Использование для идентификации нечётких имплицативных зависимостей базы данных интеллектуальной системы нейросетевого моделирования позволяет обеспечить переход на «количественный» уровень управления аварийными процессами, что повышает скорость и точность расчёта сетевых моделей вентиляционных систем шахт.

9. Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы:

- для информационно-справочной и расчетно-аналитической поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров на шахтах;

- для предварительного планирования оперативных действий подразделений ГВГСС при ликвидации аварий на шахтах (составлении и вводе в действие ПЛА);

- при проведении экспертизы реализованных управленческих решений в прецедентах;

- для проведения деловых игр, связанных с подготовкой и повышением квалификации должностных лиц органов управления и рядового состава ГВГСС при ликвидации аварий на шахтах.

10. Выполненный в монографии комплекс теоретических и экспериментальных исследований нашел практическое применение в виде «Методических рекомендаций по логико-математическому моделированию аварийных процессов в вентиляционных системах шахт и преобразованию информации в электронных планах ликвидации аварий», которые внедрены в научно-исследовательском институте горноспасательного дела и пожарной безопасности «Респиратор» (г. Донецк). Полученные результаты используются в Государственном высшем учебном заведении «Национальный горный университет», что также подтверждено соответствующим актом внедрения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах / А.М. Брюханов, В.И. Бережинский, К.К. Бусыгин, В.П. Колосюк, В.П. Коптиков, А.Г. Мнухин, Ю.Т. Хорунжий. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – Ч. I – 548 с.
2. Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах / А.М. Брюханов, В.И. Бережинский, К.К. Бусыгин, В.П. Колосюк, В.П. Коптиков, А.Г. Мнухин, Ю.Т. Хорунжий. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – Ч. II – 632 с.
3. Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах / А.М. Брюханов, В.И. Бережинский, В.П. Колосюк, В.П. Коптиков, Н.Б. Лёвкин, А.Г. Мнухин. – Донецк: Вебер, 2007. – Т. 3 – 693 с.
4. Соболев Г.Г. Горноспасательное дело / Г.Г. Соболев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1979. – 432 с.
5. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом: 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1977. – 223 с.
6. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vestipb.ru/doc/rule2_4.doc. – Название с экрана.
7. Методические рекомендации о порядке составления планов ликвидации аварий при ведении работ в подземных условиях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.securpress.ru/images/news/070811/1.doc>. – Название с экрана.
8. Положення щодо розробки планів локалізації аварійних ситуацій і аварій. Розроблене НЦ „РІЗІКОН” м. Северодонецьк. – Київ. – 1999. – 30 с.
9. Устав ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ ДНАОП 1. 1. 30 – 4. 01 – 97: Утв. 6.06.97. Киев, 1997. – 454 с.
10. О Государственной военизированной горноспасательной службе в угольной промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gvgss.org/index.php?newsid=27>. – Название с экрана.
11. Повзик Я.С. Справочник руководителя тушения пожаров. – М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2001. – 361 с.
12. Stardust Stefan. An Engineering Approach to Fire-Fighting Tactics : report / Stefan Stardust . – Dept of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, ISSN 1102-8246, ISRN LUTVDG/TVBB-1014-SE, 1996. – 83 p.
13. Повзик Я.С. Пожарная тактика / Я.С. Повзик, П.П. Ключ, А.М. Матвейкин. – М.: Стройиздат, 1990. – 355 с.
14. Найт Ф.Х. Риск, неопределенность и прибыль / Ф.Х. Найт. – М.: Дело, 2003. – 360 с.
15. Edom S.B. Decision support systems research: reference disciplines and a cumulative tradition [Электронный ресурс] / S.B. Edom // II OMEGA: The

International Journal of Management Science. – October 1995. – 23, 5. – P.511-523.
– Режим доступа: <http://else.hebis.de/cgi-bin/sciserv.pl?collection=journals&iournal=03050483 &issue=v23i0005>. – Название с экрана.

16. Inman W.H Using the Data Warehouse. New York / W.H., Inman D.H. Richard. – John Wiley & Sons, 1994. – 145 с.

17. Геловани В.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / В.А. Геловани, А.А. Башлыков, В.Б. Бритков, Е.Д. Вязилов. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с.

18. Автоматическое проектирование информационно-управляющих систем. Проектирование экспертных систем на основе системного моделирования./ Г.Г. Куликов, А.Н. Набатов, А.В. Речкалов и др.; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 1999. – 233 с.

19. Романов В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике: Учебное пособие / под ред Н.П. Тихомирова. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 496 с.

20. Рыбина Г.В. Проектирование систем, основанных на знаниях: уч. пособ. / Г.В. Рыбина – М.: МИФИ, 2000. – 104 с.

21. Marti P. The interface design of an integrated system for handling environmental emergencies [Электронный ресурс] / P. Marti. – In Proceedings of International Workshop on Cognitive Ergonomics. – Padua, Italy, 3-5 March 1995. – Режим доступа: <http://sra.itc.it/proiects/charade/padova.ps> . – Название с экрана.

22. Marti P. Bridging Software Design and Usability Analysis through Task Modeling [Электронный ресурс] / P. Marti, V. Normand. – In Varghese, K. & Pfliegel, S. Human Comfort and Security Berlin: Springer Verlag, (in press). – Режим доступа: <http://sra.itc.it/proiects/charade/hcs95.ps>. – Название с экрана.

23. Perini A. An Interactive Planning Architecture [Электронный ресурс] / A. Perini, F. Ricci. – In Proceedings European Workshop on Scheduling and Planning, Assisi, Italy, September 1995. Also in M. Ghallab and A. Milani, "New directions in AI Planning", IOS Press 1996. – Режим доступа: <http://sra.itc.it/proiects/charade/ewsp95.ps> . – Название с экрана.

24. Perini A. Constraint Reasoning and Interactive Planning: an Application to Forest Fire Fighting [Электронный ресурс] / A. Perini, F. Ricci. – In Proceedings Workshop on Constraint Languages-Systems and their use in Problem Modeling. International Logic Programming Symposium, November 18-19, Ithaca, New York, 1994. – Режим доступа: <http://sra.itc.it/proiects/charade/clw94.ps>. – Название с экрана.

25. Kaelbling L.P. Reinforcement learning: a survey [Электронный ресурс] / L.P. Kaelbling, L.M. Littman, A.W. Moore. – Journal of Artificial Intelligence Research, vol. 4, P. 237–285, 1996. – Режим доступа: <http://citeseer.ist.psu.edu/kaelblmg96reinforcement.html> . – Название с экрана.

26. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: учебник / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 382 с.

27. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – М.: Изд. Дом «Вильяме», 2001. – 624 с.

28. Сошников Д.В. Методы и средства построения распределенных интеллектуальных систем на основе продукционно-фреймового представления знаний [Текст] : дисс. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.11 : защищена 21.07.2002 / Сошников Дмитрий Валерьевич. – М.: МАИ, 2002. – 195 с. – Библиогр.: с.135-142.

29. Калянов Г.Н. CASE-технологии. Консалтинг при автоматизации бизнес процессов / Г.Н. Калянов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2000. – 320 с.

30. Чен П. Модель "сущность-связь" - шаг к единому представлению о данных / П. Чен // СУБД. – 1995. – №3. – С. 16-29.

31. Chandrasekhar B. What Are Ontology's and Why Do We Need Them? / B. Chandrasekhar, J.R. Josephson // IEEE Intelligent System and their Applications. – 1999. – Vol. 14, No 1 (Jun/Feb). – P. 20-26.

32. Corcho O. Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? [Электронный ресурс] / O. Corcho, M. Fernandez-Lopez, A. Gomez-Perez // Data & Knowledge Engineering. – 2003. – Volume 46. – P. 41-64. – Режим доступа: <http://www.aegean.gr/culturaltec/kavakli/MIS/papers/Corcho 2003.pdf>. – Название с экрана.

33. Guerino N. Ontology's and knowledge bases: towards a terminological clarification / N. Guerin, M. Carfare, P. Garrett // N. Mars (Ed.), Towards Very Large Knowledge Bases, Knowledge Building and Knowledge Sharing, IOS Press, Amsterdam. – 1995. – P. 25-32.

34. Guarino N., Masolo C, Vetere G. OntoSeek: Content-Based Access to the Web [Электронный ресурс] / N. Guarino, C. Masolo, G. Vetere // II IEEE Intelligent Systems. – 1999. – 14(3), May/June. – p. 70-80. – Режим доступа: <http://citeseer.ni.nec.com/guarino99ontoseek.html>. – Название с экрана.

35. Heist G. Van Using explicit ontologies in KBS development [Электронный ресурс] / G. Heist Van, A.Th. Schreiber, B.J. Wielinga // . – International Journal of Human-Computer Studies. – 1997. – vol. 42(2/3). – p. 183-292. – Режим доступа: <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/IJHCS/VH/>. – Название с экрана.

36. Niches R. Enabling technology for knowledge sharing / R. Niches, R.E.Fakes, T. Fining, T.R. Gruber, T. Senator, W.R. Smartest // AI Magazine, 1991, № 12 (3). – P. 36-56.

37. Borst W.N. Construction of Engineering Ontologies : PhD Thesis / W.N. Borst ; University of Twente, Enscheda. – NL-Centre for Telemetric and Information Technology, 1997.

38. Guarino N. Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation [Электронный ресурс] / N. Guarino. – Режим доступа: <http://www.loa-cnr.it/Papers/FormOntKR.pdf>. – Название с экрана.

39. Studer R. Knowledge engineering: principles and methods / R. Studer, V.R. Benjamins, D. Fensel // Data and Knowledge Engineering. – 1998. – № 25. – P. 161-197.

40. Клещев А.С. Математические модели онтологии предметных областей. Часть 1. Существующие подходы к определению понятия "онтология" / А.С.

Клещев, И.Л. Артемьева // Научно-техническая информация, серия 2 «Информационные процессы и системы», 2001. – № 2. – С. 20-27. – Режим доступа: http://www.iacr.dvo.ru/es/publ/104_1.rtf. – Название с экрана.

41. Клещев А.С. Математические модели онтологии предметных областей. Часть 2. Компоненты модели. / А.С. Клещев, И.Л. Артемьева // Научно-техническая информация, серия 2 «Информационные процессы и системы». – Режим доступа: http://www.iacr.dvo.ru/es/publ/104_2.rtf. – Название с экрана.

42. Клещев А.С. Математические модели онтологии предметных областей. Часть 3. Сравнение разных классов моделей онтологии / А.С. Клещев, И.Л. Артемьева // Научно-техническая информация, серия 2 «Информационные процессы и системы». – Режим доступа: http://www.iacr.dvo.ru/es/publ/104_3.rtf. – Название с экрана.

43. Клещев А.С. Необогащенные системы логических соотношений. Часть 1. / А.С. Клещев, И.Л. Артемьева // Научно-техническая информация, серия 2 «Информационные процессы и системы». – 2000. – № 7. – С. 18-28.

44. Uschold M. The Enterprise Ontology / M. Uschold, M. King, S. Moralee, Y. Zorgios // The Knowledge Engineering Review, Special Issue on "Putting Ontologies to Use," (eds. Uschold M. and Tate, A.), Cambridge University Press. – 1998. – Vol. 13 (1). – P. 31-89,

45. Котенко И.В. Модели вывода по прецедентам для реализации интеллектуальных систем [Электронный ресурс] / И.В. Котенко // КИИ-98. – Режим доступа: <http://space.ias.spb.su/ai/kotenko/russian.jsp>. – Название с экрана.

46. Черняховская Л.Р. Разработка динамической модели процесса управления в проблемных ситуациях на основе базы знаний прецедентов [Электронный ресурс] / Л.Р. Черняховская, Н.О. Никулина, Т.А. Халиков, Н.И. Федорова, Р.В. Водопьянов // Управление в сложных системах. Межвузовский научный сборник. – Уфа, 1999. – С. 207-212. – Режим доступа: <http://asu.ugatu.ac.ru/book/coUect/pdf/2000/24.pdf>. – Название с экрана.

47. Aamodt Agnar Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches [Электронный ресурс] / Agnar Aamodt, Enric Plaza // AI Communications, 7(1), March 1994. – Режим доступа: <http://citeseer.nj.nec.com/252387.html>. – Название с экрана.

48. Aha D.W. Conversational Case-Based Reasoning [Электронный ресурс] / D.W. Aha, L.A. Breslow, H. Mufioz-Avila / Applied Intelligence, 2001. – № 14(1). – P. 9-32. – Режим доступа: <http://vwwvvv.aic.nrl.navy.mil/~aha/papers/apinO1.ps.zip>. – Название с экрана.

49. Becerra-Fernandez I. Case-based problem solving for knowledge management systems [Электронный ресурс] / I. Becerra-Fernandez, D. Aha // Proceedings of the Twelfth Annual Florida Artificial Intelligence Research Symposium, 1999. – P. 219-223. – Режим доступа: <http://vwwvvv.aic.nrl.naw.mil/papers/1999/AIC-99-005.ps.Z>. – Название с экрана.

50. Borner K. Towards formalizations in case-based reasoning for synthesis / K. Borner // D.W. Aha (ed.), AAAI-94 Workshop on Case-Based Reasoning, 1994. – P.

177- 181. – Режим доступа: <http://citeseer.ni.nec.com/18713.html>. – Название с экрана.

51. Артемьева И.Л. Логические модели второго порядка для предметных областей / И.Л. Артемьева, Т.Л. Гаврилова, А.С. Клещев // НТИ, Серия 2. – 1997. – № 6. – С. 14-30.

52. Алексеев А.М. Расчет больших сетевых моделей с параметрическими элементами различной степени нелинейности / А.М. Алексеев // Науковий вісник НГУ. – 2013. – № 4 (136). – С. 95–100.

53. Слесарев В.В. Управление концентрацией метана в выработанном пространстве выемочного участка угольной шахты / В.В. Слесарев, А.Н. Коваленко, А.М. Алексеев // Зб. наук. праць НГУ. – 2007 – №29. – С. 235–246.

54. Коваленко А.Н. Язык представления знаний о шахте в аварийной обстановке / А.Н. Коваленко, А.М. Алексеев, В.В. Яворская // Інформатика та комп'ютерні технології: Матеріали III науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 11-13 груд. 2007 р.: тези доп. / ДонНТУ. – Донецьк, 2008. – С. 401–403.

55. Алексеев А.М. База данных и знаний автоматизированной системы составления и ввода в действие планов ликвидации аварий на шахтах / А.М. Алексеев, А.Н. Коваленко // Информатика и компьютерные технологии: Сб. тр. третьей межд. науч.-техн. конф. молодых учёных и студентов, 11-13 грудня 2007 р., Дон НТУ. – 2007. – С. 330-333.

56. Коваленко А.Н. Генерация текста для оперативной части позиций планов ликвидации аварий на шахтах [Электронный ресурс] / А.Н.Коваленко, А.М.Алексеев, П.А. Батычко // . – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/11_EISN_2008/Tecnic/30844.doc.htm. – Название с экрана.

57. Алексеев А.М. Математическая модель и алгоритмы управления распределением воздуха в вентиляционных системах шахт посредством пассивных регуляторов /А.М. Алексеев // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: матеріали між нар. наук.–практ. конф. 2008 р. : тези доп. Д.: ДНУ, 2008. – С. – 9-10.

58. Слесарев В.В. Логико-математическая модель системы оперативного управления силами и средствами при тушении пожаров на шахтах / В.В. Слесарев, А.Н., Коваленко, А.М. Алексеев // Збірн. наук. праць НГУ. – 2009. – № 32. – С. 245-253.

59. Слесарев В.В. Логико–лингвистическое моделирование аварийных процессов в вентиляционных системах шахт / В.В. Слесарев, А.Н. Коваленко, А.М. Алексеев // Моделирование и компьютерная графика: материалы Второй межд. науч.-техн. конф., Дон НТУ. – 2007. – С. 253-258.

60. Оссовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Оссовский. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

61. Круглов В.В. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, Н.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Наука, Физматгиз, 2000. – 225 с.

62. Горбань А.Н. Функции многих переменных и нейронные сети / А.Н. Горбань // Соровский образовательный журнал. – 1998. – №12. – С. 105-112.
63. Чен К. МАТЛАБ в математических исследованиях / К. Чен, П. Джиблин, А. Ирвинг. – М.: Мир, 2001. – 346 с.
64. Слесарев В.В. Система интеллектуальной поддержки принятия решений при ликвидации последствий аварий на шахтах / В.В. Слесарев, А.Н. Коваленко, А.М. Алексеев // Зб. наук. праць НГУ. – 2007 – №28. – С. 67–75.
65. Слесарев В.В. Информационная поддержка принимаемых решений при ликвидации аварий на шахтах / В.В. Слесарев, А.Н. Коваленко, А.М. Алексеев, В.В. Яворская // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.–техн. зб. – 2011. – Вип.87. – С. 54–59.
66. Артемьева И.Л. Системы логических соотношений с параметрами/ И.Л. Артемьева, Т.Л. Гаврилова, А.С. Клещев // НТИ, Серия 2. – 1997. – № 7. – С. 19-23.
67. Артемьева И.Л., Цветников В.А., Реутов В.А. Иерархическая модель онтологии физической химии. Часть I. Модель метаонтологии "Сущности" // Препринт. ИАПУ ДВО РАН. Владивосток. 2001. – 24 с.
68. Munoz-Avila H. Using guidelines to constrain interactive case-based HTN planning [Электронный ресурс] / H. Munoz-Avila, D. Aha, J. Ballas, L. Breslow, D. Nay // Tech. Report AIC-99-004, Naval Center for Applied Research on AI, Naval Research Lab., Washington, DC, 1999. – Режим доступа: <http://www.aic.nrl.naw.mil/papers/1999/AIC-99-004.ps.Z>. – Название с экрана.
69. Munoz-Avila HICAP: An interactive case-based planning architecture and its application to noncombatant evacuation operations / H. Munoz-Avila, D.W. Aha, L. Breslow, D.S. Nay [Электронный ресурс] / Proceedings of the Ninth Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence, 1999, pp. 879-885. Orlando, FL: AAAI Press. – Режим доступа: <http://www.aic.nrl.naw.mil/papers/1999/AIC-99-002.ps>. – Название с экрана.
70. Erol K., Handler J., Nay D.S. HTNPlanning: Complexity and Expressivity In Proceedings of AAAI-94, Seattle, July 1994, pp. 1123-1128. . – Режим доступа: <http://www.cs.umd.edu/users/kutluhan/Papers/AAAI-94.ps>. – Название с экрана.
71. Erol K. Semantics for Hierarchical Task-Network Planning [Электронный ресурс] / K. Erol, J. Handler, D.S. Nay // Technical report CS-TR-3239, UMIACS-TR-94-31, ISR-TR-95-9, Computer Science Dept., University of Maryland. March 1994. – Режим доступа: <http://citeseer.nj.nec.com/erol94semantics.html>. – Название с экрана.
72. Nay D., SHOP and M-SHOP: Planning with Ordered Task Decomposition / D. Nay, Y. Cao, A. Lotem, H. Munoz-Avila // Tech report TR 4157, University of Maryland, College Park, MD, June 2000.
73. Nay D., Cao Y., Lotem A., and Munoz-Avila H. SHOP: Simple Hierarchical Ordered. Technical Report CS-TR-3981, UMIACS-TR-9904. To appear, IJCAI-99.
74. Ingham O. Ca Mel: Learning Method Preconditions for HTN Planning [Электронный ресурс] / O. Ingham, D. Nay, H. Munoz-Avila, D.W. Aha // . - 2002 . – Режим доступа: www.cs.umd.edu/~nau/papers/camel-aips2002.pdf. – Название с экрана.

75. Ricci F., Perini A., Avesani P. Planning in a Complex Real Domain [Електронний ресурс] / // Proceedings of Workshop Italiano su Pianificazione Automatica, Roma, September 16-17, 1993. – Режим доступа: <http://sra.ita.it/projects/charade/aiia93.pdf>. – Название с экрана.

76. Tsuneto R., Erol K., Hendler J., Nau D. Commitment Strategies in Hierarchical Task Network Planning. In AAAI-96, Portland, August, 1996.

77. Fowler, M. and Scott, K. UML Distilled: Applying the Standard Object Modeling Language (1997) Addison-Wesley.

78. Алексеев А.М. Сетевые модели для обучения системы поддержки принятия решений при ликвидации пожаров на шахтах / А.М. Алексеев, А.Н. Коваленко // Комп'ютерний моніторинг та інформаційні технології 2009 : матеріали V науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. – ДонНТУ, 2009. – С. 251-253.

79. Грук А.В., Клещев А.С. Инструментальные средства интеллектуальной поддержки процесса приобретения знаний. Примеры практического моделирования: Препринт. Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2000. – 34 с.

80. Пашковский П.С. Программное обеспечение для безопасности ведения горноспасательных работ / Пашковский П.С., Марийчук И.Ф., Трухан Л.Н. // Уголь Украины. – 1999. – С. 33–34.

81. Алексеев А.М. Принятие решений при ликвидации аварий на шахтах и рудниках / А.М. Алексеев, А.Н. Коваленко // Информатика, кібернетика і обчислювальна техніка: зб. наук. праць / ДонНТУ. – Донецк, 2008. – Вип. 9 (132). – С. 46–54.

82. Алексеев А.М. Генерация проектов планов боевых действий при тушении пожаров на шахтах с использованием прецедентов / А.М. Алексеев // Гірничя електромеханіка та автоматика: наук.-техн.зб. – 2009. – Вип.82. – С. 86–94.

83. Алексеев А.М. Определение меры сходства возможных аварийных ситуаций на шахтах и рудниках / А.М. Алексеев, А.Н. Коваленко // Современные направления теоретических и прикладных исследований: Сб. научн. тр. межд. науч.-практ. конф., 16-27 березня 2009 р., Одесский национальный морской университет. – 2009. – С. 30-32.

84. Алексеев А.М. Автоматизация построения онтологии ликвидации аварий на шахтах для экспертной системы / А.М. Алексеев / Гірничя електромеханіка та автоматика. – Д., 2009. –№83. – С. 88-94

85. Алексеев А.М. Автоматизированная система поддержка принятия решений при ликвидации аварий на шахтах и рудниках / А.М. Алексеев, А.Н. Коваленко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, 2010. – № 9 (151). – С. 151–155.

86. Слесарев В.В. Логико-математическая модель системы оперативного управления силами и средствами при тушении пожаров на шахтах / В.В. Слесарев, А.Н., Коваленко, А.М. Алексеев // Збірн. наук. праць НГУ. – 2009. – № 32. – С. 245-253.

87. Коваленко О. М. Продукционно-фреймовая модель представления знаний о пожаре на шахте / А.Н. Коваленко, А.М. Алексеев // Комп'ютерний

моніторинг та інформаційні технології 2009: матеріали V науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. – ДонНТУ, 2009. – С. 254-255.

88. Коваленко А. Н. Онтологическая база знаний для системы поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах / А. Н. Коваленко, А.М. Алексеев // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2009: сборн. научн. тр., Одесский национальный морской университет. – Одесса, 2009. – С. 32-33.

89. Алексеев А.М. Автоматизированная экспертная система управления безопасностью на шахтах / А.М. Алексеев // Проблемы использования информационных технологий в сфере образования, науки и промышленности: Сб. научн. тр. X межд. конф., 30-31 січня 2013 р., ДВНЗ «НГУ». – 2013. – С. 24-25.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Наукове видання

Алексєєв Олексій Михайлович

**СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ НА ШАХТАХ**

Монографія

(Російською мовою)

Видано в авторській редакції.

Підп. до друку 30.04.2015. Формат 30x42/4.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 7,9.
Обл.-вид. акр.7,9. Тираж 100 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано
у Державному вищому навчальному закладі
«Національний гірничий університет».

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.
49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.