

УДК 004.94
№ держреєстрації 0108U000538
Інв. №

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"
(Державний ВНЗ "НГУ")
49000, м. Дніпропетровськ, пр. К.Маркса, 19
тел./факс. (0562) 473209; телекс 143457 «AGAT SU»;
E-mail: HomenkoO@nmu.org.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи,
д-р техн. наук, проф.

О.С.Бешта

“ _____ ” _____ 2010р.

**ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДАНИХ,
ПРОГНОЗУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ**

(заключний)

ГП-407

Начальник НДЧ,
канд. техн. наук, доцент

О.Є. Хоменко

Зав. кафедри геоінформаційних систем,
науковий керівник НДР,
д-р техн. наук, професор

Б.С. Бусигін

2010

Рукопис закінчено "7" грудня 2010 р.

Результати роботи розглянуто науково-технічною радою,
протокол №2 від "10" грудня 2010 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник НДР,
головний науковий співробітник,
д-р техн. наук

Б.С. Бусигін
(вступ, розділи 1, 2,
висновки)

Провідний науковий співробітник,
д-р техн. наук

О.М. Давиденко
(розділи 2, 3)

Старший науковий співробітник,
відповідальний виконавець,
канд. фіз.-мат. наук

О.Ю. Гусев
(розділи 3, 4)

Старший науковий співробітник

А.М. Бобришов
(розділи 1, 2)

Старший науковий співробітник,
канд. техн. наук

В.І. Корнієнко
(розділи 2, 4)

Старший науковий співробітник,
канд. техн. наук

О.М. Коваленко
(розділи 1, 2, 3)

Молодший науковий співробітник,
аспірант

О.В. Герасіна
(розділ 3)

Науковий співробітник,
аспірант

Є.П. Зацепін
(розділи 2, 3, оформлення
звіту)

Нормоконтроль

Л.С. Шломіна

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 179 с., 24 рис., 9 табл., 150 джерел, 4 додатки.

Об'єкт дослідження – процес керування силами та засобами гарнізонів державної воєнізованої гірничорятувальної служби при рішенні оперативно-тактичних завдань, пов'язаних з ліквідацією аварій на шахтах. Мета роботи – створення методів й алгоритмів інтелектуальної підтримки прийняття рішень органами оперативного керування при ліквідації аварій на шахтах, що забезпечують автоматизацію нагромадження й повторного використання експертних рішень проблемних ситуацій (оперативно-тактичного досвіду).

Метод дослідження – у роботі використаний математичний апарат теорії множин, математичної логіки, формальної семантики мов, методи подання знань і баз даних, а також сучасні методології побудови програмних комплексів і систем.

У результаті досліджень отримані наступні результати:

- побудована логіко-математична модель предметної області "Автоматизована система підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах", розроблений алгоритм формування планів оперативно-тактичних дій, що дає можливість повторного використання акумульованого в базі знань досвіду по ліквідації аварій;

- розроблена продукційно-фреймова модель подання знань досліджуваної предметної області;

- на основі запропонованого алгоритмічного забезпечення розроблена модель процесу придбання знань експертами предметної області.

Практична значимість роботи полягає у використанні її результатів при розробці програмного й інформаційного забезпечення автоматизованих систем підтримки прийняття рішень посадовими особами при ліквідації аварій на шахтах.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – адаптація розроблених методів підтримки прийняття рішень в службах міністерства виняткових ситуацій України.

АВАРІЇ НА ШАХТАХ, ПОЖЕЖІ, ПРОДУКЦІЙНО-ФРЕЙМОВА МОДЕЛЬ, ЯЗИК ПРИНЯТТЯ РІШЕНЬ, БАЗА ЗНАНЬ, МЕРЕЖНА МОДЕЛЬ НАВЧАННЯ, ОПЕРАТИВНІ ПЛАНИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ НА ШАХТАХ	12
1.1 Особливості керування шахтами у випадках виникнення аварій	12
1.1.1 Поняття аварії й статистичні дані.....	12
1.1.2 Керування шахтою в початковій стадії розвитку аварії	14
1.1.3 Особливості процесу керування процесами ліквідації аварій на шахтах після запровадження в дію ПЛА	17
1.1.4 Специфіка прийняття управлінських рішень керівником аварійних робіт.	21
1.1.5 Фактори, що впливають на невизначеності при розробці управлінських рішень керівником аварійних робіт.....	27
1.2 Основні напрямки автоматизації інформаційної підтримки керування оперативними діями при ліквідації аварій на шахтах	32
1.3 Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень (СППР), їхня архітектура й функції	33
1.3.1 СППР у термінах сучасних інформаційних технологій	33
1.3.2 Архітектура СППР і проблеми її створення.....	36
1.4 Методи подання знань в інтелектуальних системах.....	38
1.5 Засоби концептуального моделювання предметної області.....	39
1.5.1 Структурний підхід до моделювання ПрО (SA, Structured Analysis)	39
1.5.2 Діаграми зв'язок-сполучення-сутність-зв'язок	41
1.5.3 Модель RDFS.....	41
1.5.4 Технологія OMT (Object Modeling Techniques)	41
1.5.5 Онтологічний підхід	42
1.6 Метод пошуку рішень в інтелектуальних системах на основі знань про прецеденти	44

2 ЛОГІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ СИЛАМИ Й ЗАСОБАМИ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ НА ШАХТАХ	47
2.1 Структура й принципи побудови моделі	47
2.2 Модель процесу керування оперативними діями при ліквідації аварій на шахтах	49
2.2.1 Сутності знань моделі онтології "Оперативні дії"	51
2.2.2 Сутності ситуацій моделі онтології "Оперативні дії"	53
2.2.3 Допоміжні терміни	54
2.2.4 Онтологічні угоди.....	54
2.2.5 Приклад формалізованого опису прийняття управлінських рішень при ліквідації аварій у непридатній для подиху середовищу	58
2.3 Логіко-математична модель причинно-наслідкових відносин, що впливають на вибір управлінських рішень при ліквідації аварій на шахтах	62
2.3.1 Основні принципи побудови моделі проблемної області	62
2.3.2 Базові поняття й визначення	64
2.3.2.1 Знання про розвиток оперативної обстановки при гасінні пожеж на шахтах.....	65
2.3.2.2 Сорти, використовувані при побудові онтологічної моделі причинно-наслідкових відносин	67
2.3.2.3 Функціональні відносини, використовувані при побудові моделі знань.....	67
2.3.2.4 Допоміжні функції й предикати	69
2.3.3 Онтологічні угоди моделі.....	75
2.3.3.1. Обмеження цілісності невідомих і параметрів	75
2.3.3.2 Виконання необхідних умов	77
2.3.3.3 Опис причин процесу.....	78
2.3.3.4 Опис причин події	80
2.3.3.5 Властивості інтервалів розбивки, відповідаючих періодам динаміки процесу	80

2.3.3.6 Властивості розбивки осі часу, пов'язаного з ознакою	81
2.3.3.7 Визначення причинно-наслідкових зв'язків, що діють на інтервалі розбивки осі часу, пов'язаного з ознакою	84
3 ПОСТАНОВКА ТА РІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ПРОЕКТІВ ПЛАНІВ ОПЕРАТИВНИХ ДІЙ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРЕЦЕДЕНТІВ	88
3.1 Постановка завдання планування оперативних дій при ліквідації аварій на шахтах	88
3.2 Ієрархічне сіткове планування дій при ліквідації аварій (ІСПД ЛА)	91
3.3 Формалізований опис алгоритму формування планів оперативних дій при ліквідації аварій на шахтах.....	94
3.3.1 Синтаксис мови ієрархічного сіткового планування дій при ліквідації аварій на шахтах	94
3.3.2 Характеристика оперативної обстановки і їхня інтерпретація	100
3.3.3 Семантика мови ієрархічного сіткового планування оперативних дій	109
3.3.4 Рекомендації із застосування правил адаптації прецедентів	115
4 ПРОДУКЦІЙНО-ФРЕЙМОВА МОДЕЛЬ ПОДАННЯ ЗНАНЬ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ НА ШАХТАХ	121
4.1 Основні поняття.....	121
4.1.1 Продукційно-фреймова модель підсистеми генерації проектів управлінських рішень.....	124
4.1.2 Подання знань	135
4.1.2.1 Подання статичних знань.....	136
4.1.2.2 Продукційні правила й механізм виводу рішень.....	136
4.2 Алгоритмічне забезпечення процесу придбання знань у досліджуваній предметній області.....	138
4.3 Принципи побудови й архітектура АСППР для органів керування при ліквідації аварій	140

4.4	Методика й основні проблеми проектування АСППР для керівників аварійно-рятувальних робіт з використанням методології CBR	144
4.4.1	Етапи процесу розробки АСППР й їхній зміст	145
4.4.2	Загальні зауваження за рішенням завдань етапу «Аналітичне дослідження предметної області»	145
4.4.3	Місце онтологічної моделі предметної області у взаємодії користувача з АСППР	149
4.4.4	Особливості алгоритму формування проектів оперативних планів для підрозділів ДВГРС при ліквідації аварій на шахтах	153
4.4.5	Принципи функціонування підсистеми генерації проектів управлінських рішень (тактичних планів для оперативних дій підрозділів ДВГРС)	154
4.4.6	Підходи до проектування бази знань АСППР	156
4.4.7	Рекомендації до вибору програмних засобів розробки даної АСППР	157
	ВИСНОВОК	159
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	162
	Додаток А. Витяг з протоколу засідання кафедри геоінформаційних систем	176
	Додаток Б. Витяг з протоколу засідання секції "Інформаційні та телекомунікаційні системи" науково-технічної ради Національного гірничого університету	177
	Додаток В. Рецензія на заключний звіт по науково-дослідній темі.....	178
	Додаток Г. Витяг з протоколу засідання науково-технічної ради ВАТ НВП "Орбіта"	178

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ

- АСППР – Автоматизована система підтримки прийняття рішень
- АРМ – Автоматизоване робоче місце
- БД – База даних
- БЗ – База знань
- БПС – Бібліотека проблемних ситуацій
- ВКАР – Відповідальний керівник аварійних робіт
- ДВГРС – державна воєнізована гірничорятувальна служба
- ІС – Інтелектуальна система
- ІМП – Ієрархічне мережне планування
- ІМПІ ЛА – Ієрархічне мережеве планування процесів ліквідації аварій
- ОДЗ – Області допустимих значень
- ОР – Відділення респіраторників
- ОЧП – Отруйні чинники пожежі
- ПЛА – План ліквідації аварій
- ПНС – Ознака початку події
- ПрО – Проблемна область
- НО – Наочна область
- ПНЗ – Причинно-наслідкові зв'язки
- ПЕОМ – Персональна електронна обчислювальна машина
- КРР – Керівник робіт рятувальників
- РПГ – Реанімаційно-протишокова група
- СПУР – Система підтримки ухвалення рішень
- СУБД – Система управління базою даних
- ФЗ – Функціональне завдання
- ФК – Функціональний комплекс
- ЕС – Експертна система
- ЕМЗ – Елементарна мережа завдань

ВСТУП

Важливу роль у зниженні важкості наслідків від аварій на шахтах грає правильність і достовірність управлінських рішень, що приймаються посадовцями органів управління діями формуваннями ДВГРС (відповідальним керівником аварійних робіт, штабом ліквідації аварії, керівником робіт рятувальників).

Крім того, відсутність у багатьох випадках на практиці інформації, необхідній для об'єктивної оцінки ситуацій, що складаються на місці аварії, приводить до вимушеного, технічно і економічно невиправданому резервуванню сил і засобів, необхідних для його ліквідації. Таким чином, з одного боку, ускладнюються питання інформаційного забезпечення для посадовців органів управління діями формуваннями ДВГРС при ліквідації аварій, а з іншої – істотно підвищується значення і цінність своєчасної і достовірної інформації, яку з повною підставою можна розглядати як один з видів ресурсів, що забезпечують ефективність ліквідації аварій на шахтах. Актуальність вибраного напрямку дослідження визначається також і тим, що крупні і складні аварії, як правило, рідкісні і унікальні [1,2,3]. Отже, в цих випадках основними чинниками, сприяючими успіху роботи осіб, що ухвалюють рішення (ОУР), стають крім професійної компетенції ОУР уміння отримати необхідну інформацію і зробити правильні висновки при її недоліку або суперечності. Тому в складних ситуаціях необхідно максимально використовувати досвід висококваліфікованих фахівців з ліквідації аварій, застосовуючи комп'ютерні технології. Такий досвід, накопичений в автоматизованій системі, що розробляється, може бути успішно застосований при вирішенні задач тактичної підготовки керівників підрозділів рятувальників, попередній розробці тактичних (генеральних) планів [4], а також при коректуванні планів ліквідації аварій (ПЛА) на шахтах. Проте питанню автоматизації інтелектуальної підтримки управлінських рішень при ліквідації аварій на шахтах до останнього часу не приділялося належної уваги. В значній мірі це пояснюється істотно більшою складністю проблеми формалізації процедур ухвалення управлінських рішень порівняно з рішенням аналітичних задач

імітаційного моделювання аварійних процесів на мережних моделях вентиляційних систем шахт безпосередньо при аваріях.

Роботи по автоматизації інформаційної підтримки процесу розробки управлінських рішень при ліквідації аварій на шахтах були початі на початку 80-х років. Основні результати цих досліджень відображені в роботах [5-9].

Проте, у зв'язку з недосконалістю технічної бази інформаційних технологій, вони, як правило, носили фрагментарний характер і вирішували тільки конкретні приватні задачі, пов'язані з автоматизацією окремих аспектів оперативно-тактичної діяльності підрозділів ДВГРС і ОУР з керівного персоналу шахти в початкові періоди розвитку аварій [10-18].

На відміну від вищезгаданих робіт, дана науково-дослідницька робота вирішує питання автоматизації процесу підготовки рішень посадовцями органів управління безпосередньо при ліквідації аварій. Це робиться з використанням акумульованого в базі знань системи досвіду фахівців з ліквідації аварій на шахтах і зокрема гасінню пожеж.

В умовах екстремальної ситуації основними чинниками, сприяючими успіху роботи служб ДВГРС, стають крім професійної компетенції керівництва ДВГРС уміння отримати необхідну інформацію і зробити правильні висновки при її недоліку або суперечності, а також оперативність і здібність до плідної взаємодії з іншими учасниками своєї роботи, що володіють такими якостями висококваліфікованих фахівців недостатньо.

Тому в нестандартних ситуаціях необхідно використовувати їх досвід застосовуючи комп'ютерні технології, що дозволяють ефективно організувати роботу керівників ліквідації аварій на шахтах середньої кваліфікації і запропонувати їм на кожному етапі відповідні ситуації, що складається, методи і засоби. Акумульований в системі підтримки ухвалення рішень досвід спеціалістів по ліквідації аварій може бути використаний також на етапах планування ПЛА, експертизі управлінських рішень, а також при проведенні ділових ігор для підготовки і підвищення кваліфікації посадовців органів управління підрозділами ДВГРС.

Робота виконана відповідно до державної програми "Розвиток і реформування гірничо-металургійного комплексу України до 2010 року".

Проблематика роботи відповідає науково-дослідній роботі з теми ГП-407 "Інтелектуальні комп'ютерні технології обробки даних, прогнозування й керування".

Дана робота відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки й техніки, зокрема:

- комп'ютерне моделювання (теоретичні основи й інструментарій для проведення математичного експерименту), включаючи нові обчислювальні моделі для завдань природних і гуманітарних наук;

- ефективні чисельні методи для реалізації таких моделей;

- штучний інтелект (інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень на основі неklasичних логік та інтелектуального інтерфейсу, у тому числі когнітивної графіки), інтегровані експертні системи, засновані на знаннях;

- методи й засоби виявлення і подання знань;

- методи правдоподібних міркувань, що поєднують індукцію, аналогію й абдукцію;

- їх застосування в інтелектуальних системах.

Викладені обставини визначають актуальність досліджень, спрямованих на розробку нових інформаційних технологій для комплексного рішення завдань інформаційної та інтелектуальної підтримки оперативно-тактичної діяльності державної воєнізованої гірничорятувальної служби, пов'язаної з ліквідацією аварій на шахтах.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ НА ШАХТАХ

1.1 Особливості керування шахтами у випадках виникнення аварій

1.1.1 Поняття аварії й статистичні дані

Аварія – це раптовий вихід з ладу машини, устаткування, спорудження, пов'язаний з їхнім ушкодженням і потребуючий негайних заходів щодо усунення виниклих наслідків.

Аналіз аварійності вугільних шахт показує, що підземні пожежі є одним з найпоширеніших видів аварій (більше 50% загального числа).

Обвалення гірничих виробок становлять 28-30% від загального числа аварій на шахтах, раптові викиди вугілля й газу – до 6%, вибухи газу й вугільного пилу – близько 3,5%.

Інші види аварій (гірничі удари, затоплення виробітків водою, прориви глинистої пульпи й пливунів, аварії на поверхні шахт й ін.) становлять менш 7%.

Приблизно 90% підземних аварій виникає у виробках виїмкових ділянок шахт, де зосереджена найбільша кількість гірничої техніки й гірників. До того ж аварії в цих місцях характеризуються високим коефіцієнтом "ваги". Під цим терміном розуміються матеріальні витрати на ліквідацію аварій і тривалість їх у часі. Так, коефіцієнт "ваги" пожеж в ухилах (бремсбергах) і відкаточних штреках становить відповідно 0,33 й 0,32 по витратах часу на ліквідацію пожежі, а по матеріальних витратах – 0,3 й 0,4. Для пожеж у стовбурах ці коефіцієнти становлять відповідно 0,1 й 0,15 [1, 2, 3].

Вибухи метану й вугільного пилу. З 1971р. по 2000р. у вугільних шахтах України відбулося 92 вибуху й зареєстровано 297 випадків спалахів і горіння метану [1, 2, 3]. Умовно можна відносити до вибухів запалення, при яких надлишковий тиск повітря перевищує 0,01 мПа. Це безпечна для людини межа. В 75 вибухах брав

участь тільки метан, в 16 випадках – був метан і вугільний пил, і в одному – тільки вугільний пил.

Пожежею називається неконтрольований процес горіння, що супроводжується знищенням матеріальних цінностей і створює небезпеку для життя людей. Підземними називаються пожежі, що виникають у гірничих виробках й у масиві корисної копалини.

Пожежі в підземних виробках становлять більшу небезпеку головним чином тому, що продукти горіння, що містять шкідливі гази (оксид вуглецю, вуглекислота та ін.), розносяться вентиляційним струменем по виробітках шахти й можуть привести до отруєння людей, що перебувають у шахті. Відомо багато випадків, коли рудничні пожежі служили причиною загибелі десятків і сотень людей. Щорічне число пожеж на шахтах досягає від 50 до 100 випадків. У загальному числі аварій пожежі становлять більше 50% [1].

Пожежі й вибухи газу й пилу на вугільних шахтах є однією із частих (60 %) і найбільш важких аварій (до 80 % загальних витрат на ліквідацію аварій) із середньою тривалістю їхньої ліквідації 600 годин й істотним травматизмом. Найнебезпечнішими об'єктами по загоряннях і вибухам є очисні вибої та зближений з ними виробничий простір. За останні 30 років тут відбувалося більше 45 % спалахів (вибухів) газу й вугільного пилу.

На рис. 1.1 зображений розподіл матеріальних втрат від видів аварій на шахтах.

Не було двох рудничних пожеж, які були б тотожні у всіх відносинах. Складність гасіння пожеж, крім іншого, полягає в тому, що кожному з них властиві індивідуальні особливості, що залежать від місцевих умов виникнення й протікання [1].

Однак узагальнення пожеж по основних ознаках має практичне значення. Полегшуючи вивчення природи пожеж, таке узагальнення сприяє більше швидкій орієнтації при виборі належних способів боротьби в критичний момент виявлення загоряння в руднику.

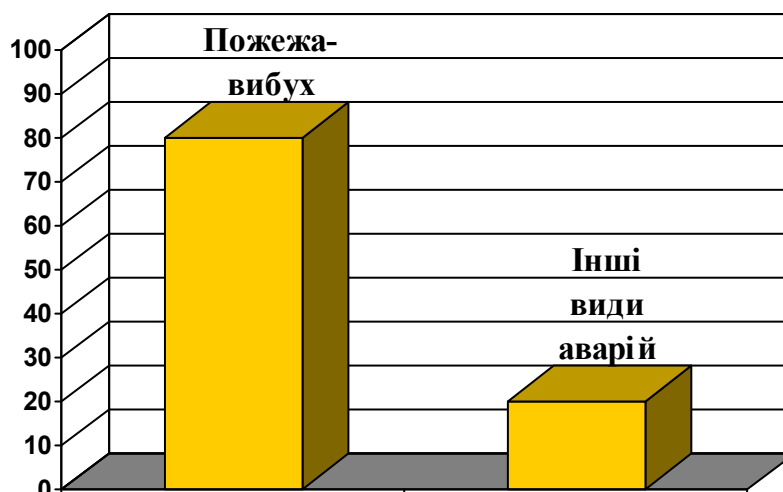


Рисунок 1.1 – Діаграма витрат

Класифікація рудничних пожеж. На рис. 1.2-1.3 зображені мережі класифікації рудничних пожеж і способів їхнього усунення.

1.1.2 Керування шахтою в початковій стадії розвитку аварії

Таке керування здійснюється по завчасно складених планах ліквідації аварій (ПЛА) [19, 20, 21]. Відповідальною особою, що приймає рішення (ОПР) при ліквідації аварії на шахті, є головний інженер. У даній аварійній ситуації всі заходи, призначені в ПЛА повинні виконуватися неухильно й негайно. Звідси високі вимоги до точності складання ПЛА й оперативному введенню їх у дію [22]. Першочерговою мірою при аваріях на шахтах є евакуація й порятунок людей.

Найнебезпечнішими аваріями на шахтах є пожежі й вибухи [1]. Їхня ліквідація вимагає більших матеріальних витрат і тривалих періодів часу. Тому в ПЛА цим аваріям приділяється переважна увага. На рис.1.4 зображена діаграма розподілу видів позицій ПЛА для однієї з вугільних шахт Західного Донбасу. Кількісний состав для кожної конкретної шахти може трохи видозмінюватися, але їхнє співвідношення практично залишається стабільним.

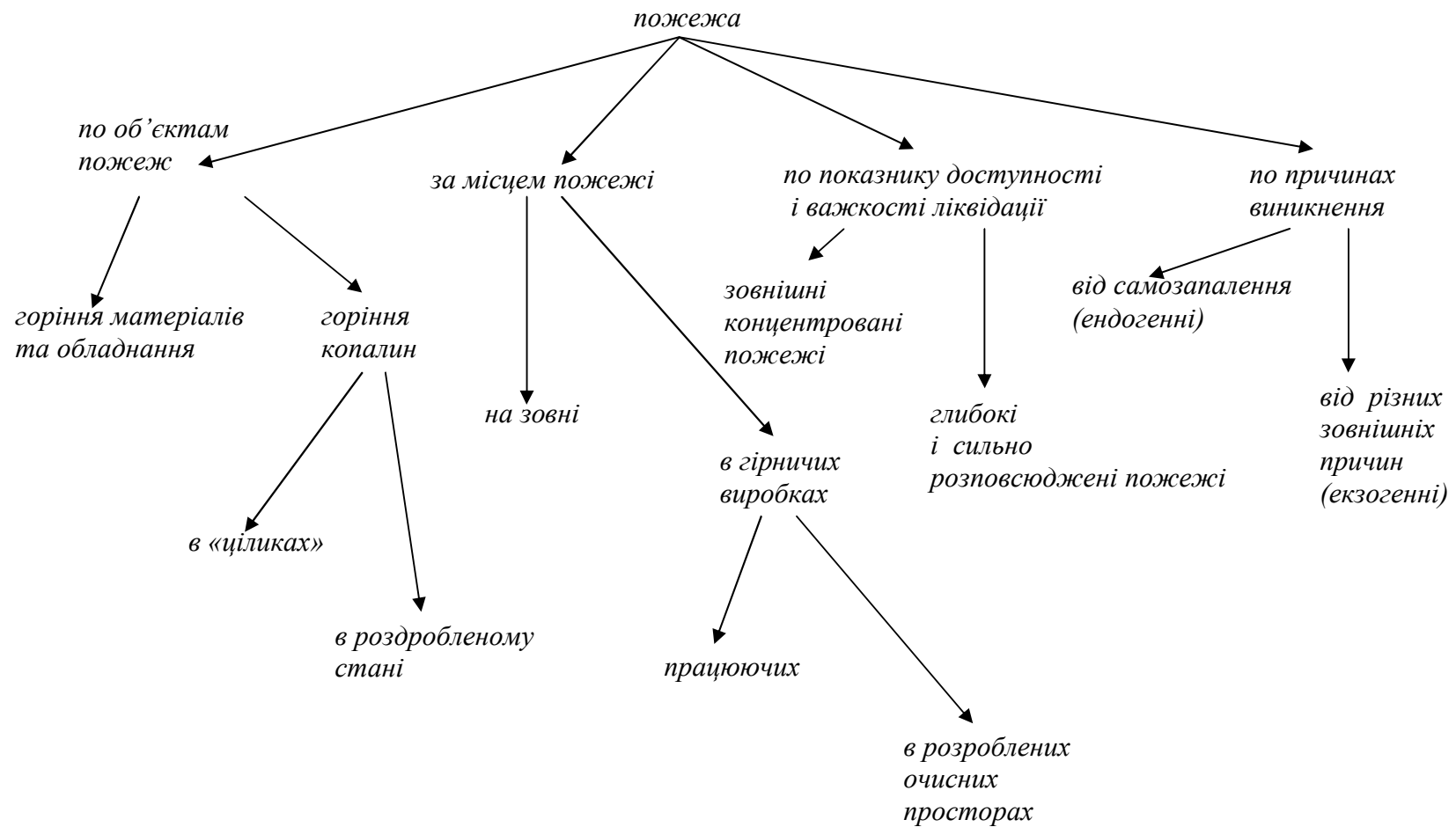


Рисунок 1.2 – Класифікація рудникових пожеж

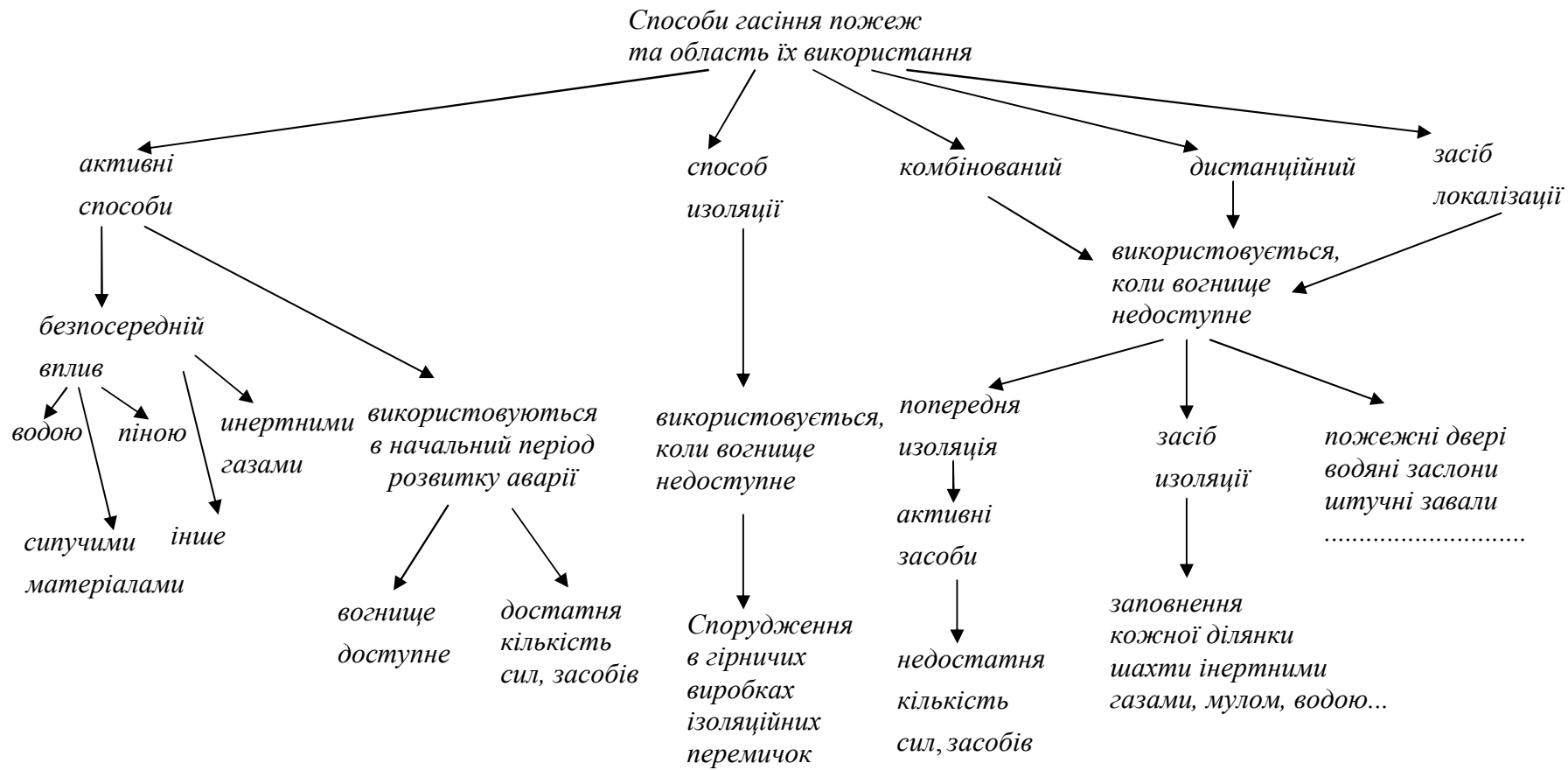


Рисунок 1.3 – Класифікація способів гасіння пожеж у шахтах

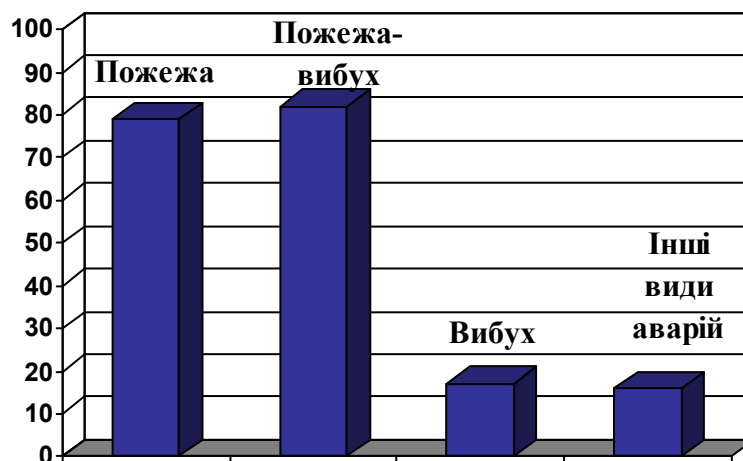


Рисунок 1.4 – Середньостатистичний склад позицій у ПЛА на вугільних шахтах України

1.1.3 Особливості процесу керування процесами ліквідації аварій на шахтах після запровадження в дію ПЛА

Після запровадження в дію ПЛА й порятунку людей у цей час групою експертів складаються оперативні (генеральні) плани ліквідації аварій [4].

У ліквідації аварій крім формувань ДВГРС беруть участь спеціальні бригади з гірників шахт, які можуть залучатися для розбирання завалів, зведення постійних або тимчасових перемичок у безпечній для життя й здоров'ю навколишньому середовищу. При ліквідації аварій на шахтах необхідно чітка взаємодія всіх служб об'єкта керування – шахти з підрозділами ДВГРС.

Сучасна шахта – складний об'єкт, особливо в аварійній обстановці, що вимагає для ефективного управління використання неординарних інформаційних технологій.

Метою керування силами й засобами ДВГРС при підземних пожежах і вибухах є рішення проблеми локалізації й ліквідації горіння, за умови збереження життя людей і забезпечення мінімальних економічних втрат. Відповідно до вимог Уставу ДВГРС [23] керування діями на місці пожежі безпосередньо або через оперативний штаб забезпечує керівник ліквідації аварії, яким є головний інженер шахти.

Основна мета системи керування на підземній пожежі досягається послідовним процесом знаходження альтернативних рішень проблемних ситуацій, під якими

розуміється сукупність подій, що розвиваються в часі й просторі й що мають певні наслідки.

Проблемна ситуація описується комплексом умов, факторів й обставин, що викликали її виникнення. Стосовно системи організаційного керування ситуаційні фактори можна підрозділити на внутрішні й зовнішні при рішенні оперативно-тактичних завдань силами й засобами ДВГРС і спеціальними формування з гірників.

Внутрішні фактори описують власне систему організації керування й принципова особливість їх у тім, що вони підконтрольні керівникові ліквідації аварії. Зовнішні неконтрольовані фактори відбивають характеристики оперативної обстановки (у т.ч. параметри аварії, аерологічні характеристики гірничих виробок, де виникла аварія, оперативно-тактичні характеристики об'єкта ліквідації аварії).

Зовнішні контрольовані фактори відображують безпосереднє оточення системи організаційного керування силами й засобами ДВГРС при рішенні оперативно-тактичних завдань, з яким у неї існує тісна пряма або непряма взаємодія (адміністрація об'єкта, служби життєзабезпечення шахти й т.д.).

Основна мета керівника аварійних робіт (КАР), як суб'єкта керування, складається в забезпеченні максимальної ефективності використання підрозділів ДВГРС при рішенні поставлених перед ними оперативних завдань.

По своїй суті, діяльність керівника на аварії, як правило, здійснюється по циклах, які включають:

- збір даних про оперативну обстановку, її аналіз й оцінку;
- розробку управлінських рішень на основі аналізу отриманої їм інформації;
- прийняття (уточнення) рішення й доведення завдань до підлеглих йому підрозділів;
- контроль виконання рішень.

У загальному випадку, діяльність керівника можна представити наступною функціональною діаграмою (рис. 1.5), з якої видно, що процес керування діями на аварії є ітеративним – на етапі контролю виконання рішень процес не закінчується, а триває новим циклом, що починається зі збору інформації або корекції раніше ухвалених рішень.

Процес керування починається зі збору інформації про проблемну ситуацію, що визначається:

- обставинами, зафіксованими на даний момент часу;
- змінами обстановки із часом, тобто протіканням процесів на аварії, які можуть відбуватися в той або інший період його розвитку на тім або іншому етапі оперативних дій підрозділів ДВГРС;
- подіями, що відбуваються на аварії;
- наявними силами та засобами.

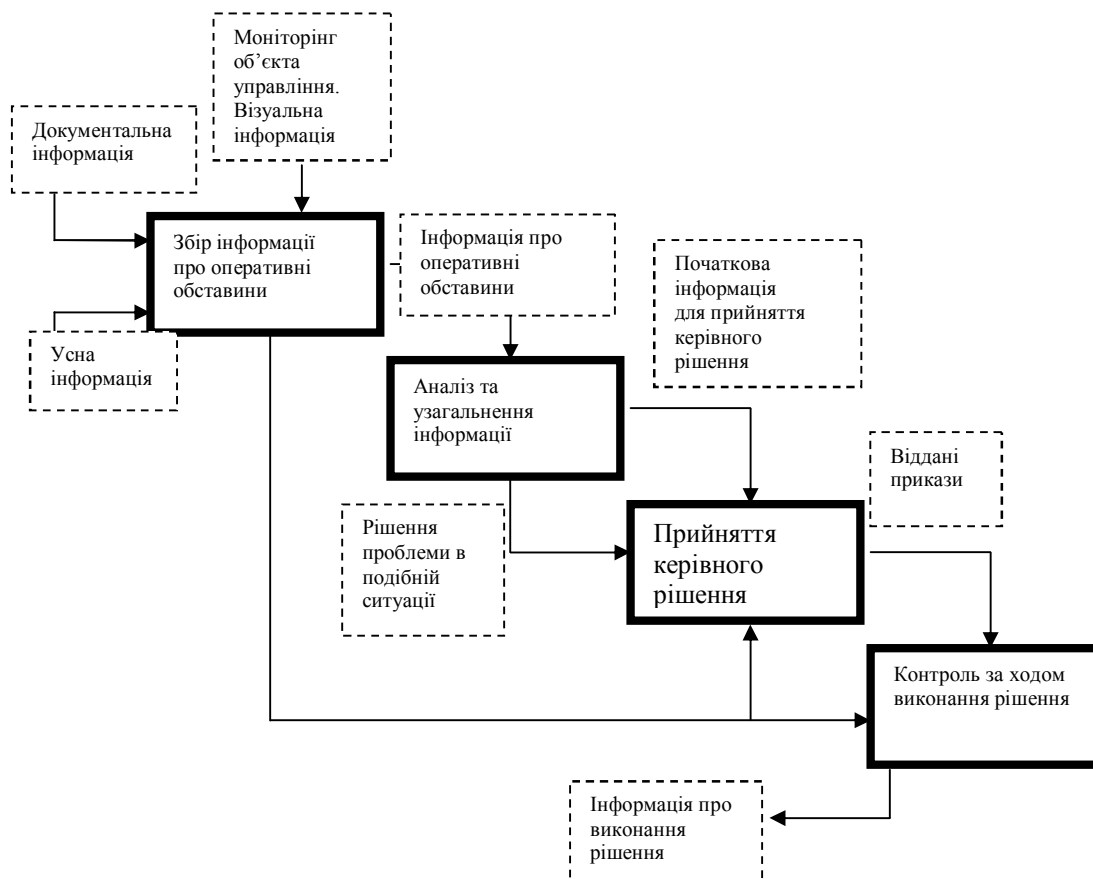


Рисунок 1.5 – Функціональна діаграма "Етапи керування діями формувань ДВГРС на аварії"

Збір керівником інформації про аварії може відбуватися вже при одержанні повідомлення про неї, а також у шляху проходження підрозділів ДВГРС до об'єкта – шахти. Джерелами інформації тут можуть служити картка виїзду й ПЛА даної аварії

на конкретній шахті. Процес збору інформації відбувається й на наступних етапах оперативних дій. При цьому керівникові необхідно в короткий термін відібрати тільки ту інформацію, що буде необхідна йому для ухвалення майбутнього рішення – тобто інформація, необхідна керівникові для наступного етапу – узагальнення й аналізу, повинна бути несуперечливою, достовірною й не надлишковою.

На етапі аналізу отриманої інформації відбувається оцінка керівником сформованої на аварії обстановки. Якість оцінки, тобто ступінь адекватності розпізнаної проблемної ситуації реальному положенню справ визначається головним чином особистим досвідом по ліквідації аварій КАР і рівнем його підготовки (утворення).

Процес розпізнавання проблемних ситуацій на аварії містить наступні етапи:

1. Виділення керівником інформації про проблемну ситуацію на аварії із загального потоку інформації, що надходить до нього.

2. Аналіз отриманої інформації. Сутність аналізу інформації складається:

– у систематизації відібраних КАР відомостей про обстановку по певних ознаках. Виділяється інформація, що відноситься до тих самих подій, тому самому часу, групам осіб або окремій особі й т.д.;

– у визначенні основних параметрів, що характеризують оперативну, аварійну обстановку на даний момент часу, і управлінських рішень, що впливають на цей вибір.

3. Прогнозування, тобто передбачення характеристик процесів й явищ на аварії з обліком його можливої динамічності.

4. Визначення ступеня вірогідності прогнозу, його зіставлення з вихідною інформацією й усунення протиріч, що виявляють.

5. Подання (відтворення) всієї ситуації в цілому з урахуванням прогнозованої динамічності обстановки на аварії.

6. Вивід з оцінки сформованої проблемної ситуації про аварію або визначення вихідних даних для ухвалення попереднього рішення.

Досвідчений керівник, як правило, порівнює проблемну ситуацію із уже відомим йому аналогічним прецедентом, і, або використає знайоме йому рішення у

випадку, якщо минула ситуація практично збігається з поточною ситуацією, або адаптує його відповідно до нових умов. Так, пункти 3-6 описують частину процесу прийняття рішення, що може бути істотно полегшена як за рахунок накопиченого досвіду, що включає оригінальні, вироблені їм самим методи рішення проблемних ситуацій, що виникали на аваріях, так і використання нових інформаційних технологій.

Якщо ж ситуація виявляється абсолютно новою для керівника, йому доводиться виробляти рішення на підставі типових, стандартних методів, основні з яких викладені в уставах, наставленнях і різних оперативно-управлінських керівних документах [24-27]. Однак застосування стандартних методів аж ніяк не припускає одержання стандартних рішень. Типові тактичні рішення в одній ситуації можуть бути нестандартними, але єдино правильними, в іншій помилковими.

У процесі керування силами й засобами на аварії всі рішення КАР, образно говорячи, повинні відповідати на питання: «Що необхідно зробити?», «Як це зробити?» і «Які потрібні ресурси?».

Результатом відповідей на питання, що зазначені вище, є оперативний план ліквідації аварії й установлений порядок його виконання. Під оперативним планом (оперативних дій підрозділів ДВГРС) розуміється остаточне рішення керівника на виконання завдання з урахуванням сформованої обстановки в умовах конкретної аварії.

1.1.4 Специфіка прийняття управлінських рішень керівником аварійних робіт

Організація, методи роботи й рішення КАР по керуванню тактичними діями на аварії залежать від безлічі факторів, у тому числі: оперативно-тактичної характеристики об'єкта (шахти); параметрів розвитку аварії й складної оперативної обстановки; тактичних можливостей і завдань, розв'язуваних підрозділами ДВГРС, а також масштабу їхніх дій; професійної підготовленості особового складу; тимчасових параметрів й ін.

Дії на аварії не можуть бути стихійними, мимовільними, що прибувають на аварію підрозділи мають потребу в єдиному керівництві, узгодженні й координації зусиль для виконання загального завдання.

Процеси виникнення й розвитку аварій, як правило, не завжди передбачувані. Найчастіше її розвиток носить схований характер (ендогенні пожежі) і його прояви звичайно виявляються несподіваними. Саме цим обумовлена складність ситуації й, у силу відсутності повної інформації, певна непередготовленість до неї посадових осіб на аварії. Тому, найчастіше втрачається необхідний момент для своєчасного проведення попереджувальних або захисних заходів. Почасти це пов'язане із психологічною неготовністю КАР в умовах нової, незвичайної для нього ситуації, що характеризується дефіцитом часу, необхідністю прийняття швидких і нестандартних управлінських рішень. Крім того, КАР витримує високі психологічні навантаження через можливі наслідки невірно ухвалених рішень в екстремальних умовах, що збільшують імовірність помилки в ухвалені рішення.

Вивчаючи й оцінюючи дані про оперативну обстановку, КАР зіставляє з ними зміст оперативного плану ліквідації аварії й на цій основі робить вивід про його відповідність реально складній обстановці. У ході оцінки обстановки визначається порядок взаємодії із залученими силами й намічаються заходи щодо всебічного забезпечення дій особового складу при ліквідації наслідків аварій на шахтах. Оцінюючи оперативну обстановку, КАР орієнтується на доповіді своїх заступників, членів оперативного штабу на аварії (експертів), які готували матеріали, що характеризують обстановку, виконували розрахунки по розміщенню, використанню сил і засобів.

На основі вивчення й оцінки оперативної обстановки КАР приймає рішення, у якому визначає:

- які завдання й послідовність їхнього виконання;
- розміщення сил і засобів здійснення наміченого тактичного (оперативного) плану ліквідації аварії;
- ділянки, об'єкти зосередження основних зусиль підрозділів ДВГРС і взаємодіючих служб шахти;

- порядок взаємодії підрозділів ДВГРС із пожежною охороною й службами життєзабезпечення шахти;
- організацію систем керування й зв'язки.

В умовах підземної аварії пріоритет віддається завданню порятунку людей, евакуації людей із зони впливу небезпечних факторів аварії.

Ефективне керування оперативними діями на аварії в шахті дозволяє скоротити час її локалізації, забезпечити ліквідацію й, таким чином, зменшити розміри збитку від її. Цього можна досягти, якщо при плануванні оперативних дій робити розрахунок потрібних сил і засобів з урахуванням складної обстановки на аварії, оцінювати можливості приваблюваних підрозділів, визначати послідовність їхнього запровадження в дію й порядок застосування, а також за умови оптимального їхнього розподілу для виконання поставлених завдань.

Обстановка, у якій КАР доводиться приймати рішення при керуванні діями на аварії в шахті, характеризується наступними факторами:

- КАР, прямуючи до місця роботи, може майже нічого не знати про реальну обстановку на місці аварії, про проблеми, з якими йому доведеться зштовхнутися при прибутті на аварію;
- неповнота, невірогідність, неточність інформації, наявної в розпорядженні КАР. Так, у початковий період розвитку, наприклад, підземної пожежі має місце відсутність точної інформації про інтенсивність процесу горіння, його джерелах і факторах, про масштаб охопленою зоною горіння підземних виробітків, можливого збитку та ін.;
- постійно мінливі умови ведення оперативних дій на аварії;
- конкретно не уточнені, безупинно мінливі цілі керування, неоднозначність оцінки їхньої пріоритетності;
- рішення приймаються в численних сполученнях дія/зворотний зв'язок. КАР повинен постійно контролювати виконання прийнятих їм рішень, у тому числі одержуючи інформацію від підлеглих;
- фактор часу. Недолік часу для всебічного аналізу обстановки. Вплив цього фактора має місце на всіх стадіях ліквідації аварії й ліквідації її наслідків;

– висока відповідальність. Від прийнятих КАР рішень часто залежить життя й здоров'я людей, величина понесеного або очікуваного збитку. Значний ризик прийняття неадекватного управлінського рішення.

– велика кількість учасників, залучених у процес підготовки й реалізації управлінських рішень КАР (експертні ради, комісії).

– організаційні норми й завдання. КАР повинен постійно зіставляти особистий вибір з нормативними й рекомендаційними документами, що регламентують питання організації ліквідації аварії [23], довідковими документами [24, 25] і т.д.

Результати аналізу діяльності КАР на пожежі, матеріали інспекторських перевірок гарнізонів ДВГРС показують, що більшість проблем, які необхідно вирішувати КАР при попереднім плануванні оперативних дій, включали вибір пріоритетних дій у випадку недостачі сил і засобів, організації евакуації людей, вибору вирішального напрямку тактичних дій і т.д.

У роботах [28, 29] відзначається, що в умовах можливої неповноти інформації, дефіциту часу й необхідних ресурсів вирішальне значення, поряд із кваліфікацією КАР, здобуває їхній практичний досвід участі в ліквідації такого роду аварій, уміння вибрати найбільш ефективний у сформованій ситуації шлях рішення завдання. КАР звичайно приймає рішення, засноване на особистому досвіді, тобто КАР вибирає ті дії, наслідки яких для нього найбільш передбачувані в даній ситуації.

Таблиця 1.1 – Ресурсно-технологічні аспекти управлінської діяльності керівника ліквідації аварії

Групи рішень КАР	Що необхідно зробити?	Як це зробити?	Які потрібні ресурси?	
			Час	Інші
Інформаційні рішення	Оцінка й аналіз всієї інформації, що надходить до КАР, Визначення ймовірних сценаріїв розвитку обстановки, Визначення вірогідності інформації, що надходить від різних джерел у процесі ліквідації аварії й т.д.	Використання нормативних і методичних матеріалів для оцінки кількісних й якісних параметрів оперативної обстановки	Час одержання конкретної інформації	Джерела інформації, способи одержання й обробки інформації
Організаційні рішення	Визначення відповідальних осіб з начальницького складу, для здійснення ними керівництва підлеглими йому підрозділами на виділеній ділянці роботи Визначення цілей, завдань, форма й порядок постановки оперативних завдань	Використання оперативного плану ліквідації аварії, Визначення порядку організації системи керівництва ліквідацією аварії, Розподіл сил і засобів по ділянках (секторам), позиціям при ліквідації аварії	Розрахунковий час зосередження, введення сил і засобів при ліквідації аварії	Залучити сили та засоби, оперативний план ліквідації аварії, прийняті інформаційні рішення
Технологічні рішення	Реалізація плану оперативних дій на аварії Організація ефективного контролю за виконанням наказів, розпоряджень, можливі зміни в первинно віддані команди, накази й розпорядження й т.п.	Визначення змісту завдань й особливостей оперативних дій кожного підрозділу, що беруть участь у ліквідації даної аварії. Віддача наказів і розпоряджень	Розрахунковий час виконання оперативних завдань спеціальними формуваннями з гірників і підрозділів ДВГРС	Відповідальні особи за виконання поставлених оперативних завдань і вимагаються для цього засобу; додатково притягнуті сили й засоби, прийняті інформаційні рішення

Для цього можливого напрямку (напрямоків) ведення оперативних дій КАР, виходячи з досвіду, визначає передбачувані результати й з його боку рішення, вибирає *єдиний* варіант розвитку подій на аварії, замість того, щоб оцінювати весь їхній комплекс. Це значить, що рішення КАР ґрунтується на його ж особистому досвіді ліквідації минулих аварій. Якщо результат початих їм раніше дій виявився прийнятним, такий же підхід використовується їм при ліквідації наступної аварії, з тим же самим передбачуваним результатом.

Таким чином, одним з основних питань, що виникають перед КАР у міру збільшення складності обстановки на аварії, є питання: чи схожа дана ситуація? Відзначимо, що кваліфікація РАР, його досвід складаються почасти саме в знанні безлічі можливих сценаріїв дії й в умінні їх оперативно використати.

У роботі Стефана Сардквіста [28], присвяченої інженерному підходу до тактики гасіння пожеж, відзначається:

- фахівці, що приймають рішення при гасінні пожеж, часто оцінюють і приймають (можливо) не кращий єдиний варіант, замість того, щоб аналізувати безліч варіантів гасіння одночасно;

- фахівці відрізняються від новачків головним чином по їхніх здатностях оцінки ситуації, а не їхньому вмінню аргументувати своє рішення;

- коли проблема погано визначена, особа, що приймає рішення, вибирає варіант, що досить непоганий, але необов'язково кращий;

- вибір рішення скоріше схематичний, чим підкоряється обчислювальному алгоритму;

- процес обмірковування дій і самі дії як би нашаровані один на одного. Прийняття рішень динамічно й циклічно – воно не складається з дискретних, ізольованих подій і процесів.

Немаловажний вплив на прийнятті КАР рішення робить неформалізована інформація, що існує у вигляді рекомендацій, положень або досвіду самого КАР. Так, після прибуття на аварійний об'єкт, КАР у своїх діях повинен керуватися відомостями, отриманими їм з оперативних документів, положеннями Уставу ДВГРС [23], усною інформацією від адміністративних осіб об'єкта, а також своїм

особистим досвідом. На практиці, КАР, особливо початківець, не завжди здатний, на основі тих відомостей, які йому доступні, проаналізувати всі варіанти розвитку подій і прийняти адекватне рішення.

1.1.5 Фактори, що впливають на невизначеності при розробці управлінських рішень керівником аварійних робіт

КАР доводиться розробляти управлінські рішення в умовах недостатньої або недостовірної інформації. Результати реалізації управлінських рішень не завжди збігаються із ПЛА. У таких випадках посиляються на непередбачені невизначеності або ризики.

Звичайно невизначеність зв'язують із розробкою управлінських рішень, а ризик – з реалізацією управлінських рішень, тобто з результатами.

Термін невизначеність був запропонований Ф. Найтом [30] в 1933 році й визначається як неможливість точної оцінки навколишнього середовища й об'єкта, що функціонує в цьому середовищі.

При побудові математичних моделей процесу прийняття управлінських рішень виникає необхідність оцінки невизначеності для вибору оптимальних рішень.

Однак визначення (оцінка) невизначеності при розробці управлінських рішень КАР на практиці є складним завданням, оскільки для її оцінки, що базується на характеристиках інформації (обсязі, цінності, насиченості й вірогідності), використуваних інформаційних технологіях, професіоналізмі підлеглих і т.д., потрібні більші тимчасові витрати, які в цьому випадку себе не виправдують.

Основними причинами *невизначеностей інформаційного характеру* при розробці управлінських рішень КАР є:

- відсутність повної, достовірної інформації;
- складність аналітичної обробки інформації;
- складність оцінки оперативної обстановки по непрямим ознаках.

Складність обробки інформації може бути викликана формою її подання, наявністю нечітких оцінок типу "більше-менше", "краще-гірше", складністю або неоднозначністю процедур її обробки; нестачею часу на її обробку і т.п.

Основними причинами невизначеностей, обумовлених професійним рівнем КАР, при розробці управлінських рішень є:

- обмеження на ресурси (матеріальні, інтелектуальні та ін.), необхідні для виконання рішення;
- вплив обставин непереборної сили (форс-мажорних), які як надзвичайні, що не існували під час розробки або реалізації управлінських рішень і виникли мимоволі його учасників;
- наявність суб'єктивного фактора при делегуванні рішення або його частин іншим виконавцям;
- недостатня професійна підготовка керівників і фахівців апарата керування силами й засобами на аварії в шахті;
- невідповідність рішення очікуваній обстановці на аварії.

Обмеження на ресурси, необхідні для виконання рішення, звичайно, ураховуються при розробці управлінського рішення. Однак у реальному процесі реалізації можуть виникнути небажані сполучення таких обмежень на ресурси, які перешкоджають виконанню рішення. Наприклад, тактичний задум оперативних дій може припускати використання найближчих до місця аварії спеціальних засобів пожежогасіння, однак через їх відсутність доводиться ухвалювати рішення щодо їхньої доставці до місця аварії, що вносить необхідність залучення додаткових технічних і тимчасових ресурсів.

Працюючи з невизначеностями в умовах "внутрішнього і зовнішнього середовища" аварійного процесу, КАР доводиться мати справу із трьома групами параметрів: повністю керованими, частково керованими та некерованими.

Повністю керовані параметри дають можливість КАР упевнено приймати обґрунтовані рішення. Вони характеризуються наявністю чітко сформульованої мети й набору складових її завдань, математичного або логічного апарата формування явно вираженого рішення (у вигляді плану оперативних заходів або в

чисельному виді). До таких параметрів, наприклад, ставляться тактико-технічні характеристики спеціальної пожежної техніки, які КАР може враховувати при розрахунку потрібної кількості сил і засобів, необхідних для ліквідації аварії.

До *некерованих параметрів* ставляться параметри, непідвласні КАР. Ці параметри самі вносять корективи, як у рішення, так і результати його виконання, що збільшує рівень невизначеності й змушує керівника ризикувати у виборі й реалізації рішення. До некерованих параметрів ставляться властивості гірничого масиву до виділення метану, до обвалення т.д.

Частково керовані параметри – проміжні стани параметрів від повністю керованих до некерованих. З певною ймовірністю значення цих параметрів можна прогнозувати. Це такі характеристики оперативної обстановки, як лінійна швидкість розвитку пожежі по гірничих виробках, напрямок його розвитку, газообмін, можлива площа пожежі через певний проміжок часу й т.д.

Завданням КАР на етапі аналізу й обробки інформації є зниження рівня невизначеності шляхом зведення імовірнісних параметрів від рівня некерованих до рівня частково керованих. Недостатня професійна підготовка КАР або посадових осіб органів керування на аварії сприяє перекладу багатьох детермінованих ситуацій і процесів у розряд невизначених.

Аналіз практики ліквідації підземних аварій показав, що всі помилки, що допускають при керуванні діями на аварії, можна класифікувати по наступних аспектах управлінської діяльності, що відповідають типам розв'язуваних КАР проблем:

- інформаційному;
- організаційному;
- технологічному.

Помилки, характерні для складового інформаційного аспекту процесу керування:

1. Збір інформації про оперативну обстановку на аварії (розвідки):

- помилка в організації проведення розвідки (розвідка не була проведена або була проведена неякісно);

– помилка в результатах розвідки (у результаті проведеної розвідки отримані неточні або недостовірні дані).

2. Аналіз отриманої інформації:

- помилка інтерпретації отриманої інформації;
- помилка в розпізнаванні сформованої ситуації.

3. Обробка інформації про оперативну обстановку на аварії (розвідки):

- помилка в розрахунку необхідної кількості сил і засобів на аварії;
- помилка в оцінці тактичних можливостей підрозділів ДВГРС;
- помилка в прогнозі розвитку оперативної обстановки на аварії в шахті.

Помилки, характерні для складового організаційного аспекту процесу керування:

1. Вибір схеми організації виконання тактичних завдань (евакуації гірників, розвідки аварійного об'єкта, контроль мікрокліматичних параметрів навколишнього середовища гірничих виробок, керування аварійним провітрюванням гірничих виробок, подачі засобів пожежогасіння певного виду на аварійний об'єкт):

- помилка у виборі варіанта схеми організації (наприклад, неефективна схема розподілу відділень ДВГРС по маршрутах розвідки й евакуації гірників);
- помилка в самій схемі організації ліквідації аварії (наприклад, призначення в штаб недосвідченої посадової особи – експерта).

2. Вибір схеми організації процесу керування гасінням пожежі:

- помилка у виборі варіанта організаційної структури системи керування на аварії (напр. не призначення оперативного штабу по ліквідації аварії);
- помилка у виборі схеми взаємодії елементів організаційної структури (наприклад, неякісна організація зв'язку на аварії).

Помилки, характерні для складового технологічного аспекту процесу керування:

1. Вибір або складання тактичного задуму (сценарію) проведення оперативних дій:

- помилка у виборі варіанта сценарію проведення оперативних дій (напр., неправильно обраний вирішальний напрямок оперативних дій);

– помилка в самому сценарії (не врахована можливість реакції АХОР (аварійно хімічно небезпечних речовин) між ними й водою при розливі або розсипі).

2. Вибір методів реалізації управлінських рішень:

– помилка при виборі методу (наприклад, неправильно обраний спосіб гасіння, порятунку людей і т.п.);

– помилка при виборі засобів реалізації методу (наприклад, неправильно обрані засоби гасіння, способи їхньої подачі і т.п.).

3. Постановка конкретних оперативних завдань виконавцям:

– помилка розподілу функцій керування серед посадових осіб (наприклад, не враховані кваліфікація й досвід посадових осіб);

– неточність у постановці завдань перед виконавцями.

4. Контроль виконання поставлених оперативних завдань:

– недостатній контроль виконання завдань підлеглими серед посадових осіб системи керування на аварії;

– недостатня або неефективна психологічна мотивація й стимулювання підлеглих при перевірці КАР виконання поставлених їм завдань (причиною можуть бути невпевнені, суперечливі розпорядження КАР).

Практично всі описані вище типи помилок впливають із недоліку досвіду ліквідації аварій КАР. Аналіз статистики по великих аваріях на шахтах показує, що не завжди перший КАР мав необхідний обсяг знань і досвід для об'єктивного розпізнавання сформованої обстановки й визначення відповідних їй першочергових оперативно-тактичних рішень. Це дуже важливо для діяльності, особливо першого КАР, тому що правильне визначення вирішального напрямку оперативних дій підрозділів ДВГРС буде багато в чому визначати успіх ліквідації аварії в цілому.

Помилки, характерні для складового інформаційного аспекту процесу керування, є найбільш істотними по ступені впливу на результати ліквідації аварії. Так, при ліквідації великих аварій на шахтах КАР повинен робити певні тактичні розрахунки, тобто розрахунок сил і засобів, необхідних для ліквідації аварії. На основі цього він може об'єктивно обґрунтувати й тактично грамотно розробити оперативний план ефективного використання всіх можливостей підрозділів ДВГРС

по ліквідації конкретної аварії. Помилкові результати розрахунків, або неточна оцінка оперативної обстановки спричиняють ланцюжок управлінських рішень, що апріорі є мало ефективними. Іноді перший КАР по видимих ознаках аварії, не повністю розпізнавши сформовану проблемну ситуацію, неправильно визначає вирішальний напрямок оперативних дій, що приводить до помилок, пов'язаними з небажаними, а іноді із трагічними результатами.

Іншою причиною виникнення помилок є наявність недостовірної інформації, що викликає коливання в діях КАР, що також приводить до ухвалення необґрунтованого рішення. Визначення вірогідності прогнозу є елементом зворотного зв'язку в циклі підготовки рішення. При цьому велике значення у визначенні вірогідності прогнозу має порівняння аналізованих даних з діючими довідковими даними по, параметрам розвитку та ліквідації аварії.

1.2 Основні напрямки автоматизації інформаційної підтримки керування оперативними діями при ліквідації аварій на шахтах

В умовах неповноти інформації, а також при використанні неякісних даних на етапі виробітку КАР цілей і задуму тактичного плану ефективним засобом мінімізації помилок при організації оперативних дій є застосування сучасних інформаційних технологій для обробки вхідної інформації з метою адекватної оцінки й прогнозування складної оперативної обстановки на аварії.

Підтримка прийняття рішень полягає в допомозі КАР у процесі прийняття рішень. Вона допомагає КАР у наступних діях:

- при аналізі та оцінці сформованої ситуації й обмежень, що накладаються оперативною обстановкою;
- при виявленні переваг КАР, обліку невизначеності в оцінках КАР і формуванні його переваг;
- при формуванні списку альтернатив (можливих рішень);
- при оцінці можливих альтернатив, виходячи з переваг КАР й обмежень, що накладаються оперативною обстановкою;

- при аналізі наслідків прийнятих рішень;
- у виборі кращого, з погляду КАР, варіанта дій. Інакше кажучи, система підтримки прийняття рішень реалізує той самий загальний механізм прийняття рішень із урахуванням досвіду та інших особистих особливостей КАР.

Проведений вище аналіз процесу розробки та прийняття управлінських рішень при ліквідації аварій на шахтах показав, що при керуванні тактичними діями підрозділів ДВГРС КАР необхідна багаторівнева інформаційна підтримка. Одним з підходів (варіантів) до підвищення якості і ефективності управлінських рішень, прийнятих КАР, є використання автоматизованих систем підтримки прийняття рішень.

Склад інформації, необхідної РАР на різних етапах керування, а також можливість і форма її подання автоматизованою системою наведені в табл. 1.2.

1.3 Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень (СППР), їхня архітектура й функції

Насамперед, визначимо, що буде розумітися в рамках даного дослідження під терміном "інтелектуальна система підтримки прийняття рішень".

1.3.1 СППР у термінах сучасних інформаційних технологій

Термін "система підтримки ухвалення рішення" (DSS – Decision Support System) з'явився на початку 70-х років [31], однак, до сьогоднішніх днів не існує його загально визнаного визначення.

У роботі [32] СППР визначається як засіб для "обчислення рішень", засноване на використанні моделей, ряду процедур по обробці даних і суджень, що допомагають ОПР в ухваленні рішення.

В [33,34] СППР визначаються як людино-машинні комплекси, які дозволяють особам, що приймають рішення (ОПР), використати інформацію, знання, об'єктивні й суб'єктивні моделі, які при рішенні погано формалізуються і слабо

структурованих завдань у різних проблемних областях. Істотний вплив на таку спрямованість СППР зробила класифікація проблем, запропонована в [35], відповідно до якої неструктуровані завдання мають лише якісний опис, заснований на судженнях ОПР, а кількісні залежності між основними характеристиками завдання не відомі. У добре структурованих завданнях істотні залежності можуть бути виражені кількісно, а її зміст вдається виразити у формі математичної моделі, що має точний алгоритм рішення. Проміжне положення займають слабо структуровані завдання, "поєднуючи кількісні і якісні залежності, причому маловідомі й невизначені сторони завдання мають тенденцію домінувати" [35].

Всі перераховані вище визначення не суперечать один одного й досить повно характеризують СППР. Крім того, як видно з наведених визначень СППР не заміняє ЛПР, автоматизуючи процес ухвалення рішення, а надає йому допомогу в ході рішення поставленого завдання. Отже, "СППР, концептуально поєднуючи підходи й методи теорії прийняття рішень, теорії інформаційних систем, штучного інтелекту (в області добування, подання знань й організації людино-машинної взаємодії) і використовуючи об'єктивну й суб'єктивну інформацію, забезпечує ОПР засобами аналізу розв'язуваної проблеми й направляє його в процесі прийняття рішень із метою підвищення ефективності прийнятих рішень" [33].

Відмітною рисою інтелектуальних СППР [33-39] від всіх інших автоматизованих інформаційних систем [40,41] є наявність у складі інтелектуальних СППР наступних компонентів:

- бази знань;
- блоку логічного виводу;
- мовного інтерфейсу.

База знань дозволяє зберігати, а в ряді випадків й актуалізувати дані, що представляють собою формалізований певним чином досвід експертів предметної області. Блок логічного виводу, або інтерпретатор, використовуючи експертні знання й деякого правила обробки цих знань, дозволяє сформулювати рішення або кілька альтернатив рішень даної проблеми.

Таблиця 1.2 – Інформаційна та інтелектуальна підтримка, необхідна на різних етапах процесу керування

Етапи процесу керування на аварії	Зміст інформації, надаваною автоматизованою системою	Необхідна КАР інформаційна й інтелектуальна підтримка й можливі способи її реалізації
Збір інформації про оперативну обстановку	Характеристика об'єкта ліквідації аварії, інформація про найближчі засоби пожежогасіння, джерелах небезпеки на об'єкті і т.д. Довідкова інформація про технологічні характеристики аварійного об'єкта, способах подачі засобів для гасіння у конкретній ситуації, властивостях горіння різних речовин і матеріалів, тактико-технічних характеристиках можливих і доступних засобах, способах ліквідації аварії і т.п.	Реалізація оперативної інформаційної підтримки шляхом розробки електронних довідників і бази даних по об'єктах у гарнізонах ДВГРС.
Аналіз й обробка інформації	Визначення необхідних сил і засобів, кількісних параметрів оперативної обстановки, часу евакуації людей із шахти, можливих варіантів розвитку ситуації. Визначення прогностичних значень параметрів оперативної обстановки на аварії на деяку перспективу залежно від зміни різних факторів, що впливають.	Оперативна обробка інформації за допомогою застосування комп'ютерних алгоритмів розрахунку й імітаційних моделей. Використання аналогії при визначенні можливих варіантів розвитку ситуації. Пошук схожих з поточною ситуацією прецедентів у базі знань для комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень.
Розробка варіантів управлінських рішень	Варіанти управлінських рішень (підготовка проектів оперативних планів дій при ліквідації аварії або рішення іншого оперативного завдання). Імовірні наслідки альтернатив рішень.	Використання алгоритмів планування; пошук управлінських рішень у схожих ситуаціях у базі прецедентів автоматизованої системи підтримки рішень. Використання бази фактів і правил виводу для генерації рішень й оцінки наслідків альтернатив рішень.

Інтелектуальні СППР забезпечують ОПР три види підтримки:

- інформаційну підтримку, що забезпечує доступ ОПР до інформації, і її часткову обробку, реалізовану запитально-відповідною підсистемою на базі СУБД;
- модельну підтримку, що забезпечує можливість роботи в середовищі типових для предметної області логічних, математичних, статистичних й інших моделей проблемних ситуацій, включаючи рішення основних завдань моделювання типу "Як зробити, щоб?", "Що буде, якщо?" й ін.;
- експертну підтримку, що також забезпечує виробку й оцінку можливих альтернатив, але не за рахунок використання моделей, а за рахунок створення експертних систем, пов'язаних з обробкою знань.

Причому, у СППР "експертна, евристична" компонента є головною, а "суворі" методи мають в основному допоміжне призначення.

1.3.2 Архітектура СППР і проблеми її створення

В області створення інтелектуальних систем спостерігається ситуація, коли створюється велика кількість досить складних спеціалізованих програмних засобів, кожен з яких знаходить вузьке застосування для рішення дуже невеликого числа практичних завдань (іноді – одного завдання) і не одержує широкого поширення.

За останні роки в нас у країні та за рубежем було створено досить багато інтелектуальних систем підтримки управлінських рішень в екстремальних (позаштатних) ситуаціях [33-67]. Однак жодна з них не є універсальною й не використовується для рішення завдань за межами організації-розроблювача. Деякі ідеї й підходи, використані при побудові зазначених вище систем, становлять певний інтерес і повинні бути враховані при рішенні завдань даного дослідження.

Так, найбільш близька до проблем роботи система CHARADE [62-65], яка забезпечує підтримку прийняття рішень при оперативному керуванні ліквідацією лісових пожеж. Підтримка прийняття рішень здійснюється як на рівні керівника гасіння пожежі, так і на рівні начальників оперативних ділянок (далі – агентів). При проектуванні системи розроблювачі виходили з того, що практично неможливо

спланувати оптимальну тактику для всіх агентів, беручи до уваги велику кількість можливих варіантів розвитку оперативної обстановки. Тому альтернативою оперативному плануванню автори проекту віддали перевагу підходу, названому Reinforcement Learning (RL) (прискорене навчання) [68], використовуваний ними як алгоритм навчання тактиці негайного реагування (reactive policies), що полягає в перетворенні вхідної інформації про оперативну обстановку в пропозиції до конкретних дій. Переваги такого підходу полягають в можливості негайної відповіді системи на зміни оперативної обстановки без необхідності коректування заздалегідь спланованих дій. Крім того, в CHARADE інтегрована геоінформаційна система, а також модель просторової імітації пожежі, що дозволяє враховувати при прийнятті рішень динаміку пожежі, особливості ландшафту і т.д. RL-методи надають інструмент для навчання системи на основі повторення експериментів по імітації пожеж і тактичних дій наземних і повітряних агентів. А також прогнозування збитку при різних варіантах розвитку обстановки. Оптимальними вважаються ті рішення, які, як очікується, приведуть до мінімальних втрат.

Під час імітації лісової пожежі можуть прийматися (і акумулюватися в базі знань системи) наступні рішення:

- оцінка масштабів розвитку пожежі, що виробляється з врахуванням очікуваного ступеня складності контролю над розвитком пожежі, очікуваної швидкості просування фронту пожежі;
- визначення сил і засобів, що потрібні, яке ґрунтується на характеристиках оперативної обстановки, і оцінці масштабів розвитку пожежі;
- визначення початкової позиції для атаки;
- виконання агентами тактичних дій (policies). Тактика спонукує агента діяти відповідно до змін в оперативній обстановці.

Операція по гасінню пожежі в системі CHARADE оцінюється спеціальною функцією, що враховує збиток, нанесений навколишньому середовищу (по площі), продуктам людської діяльності (економічний), а також дії команди пожежних (агентів). Аналіз зазначених вище публікацій дозволяє визначити концептуальну архітектуру інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (СППР), до

складу якої входять чотири головних компоненти (рис. 1.5): база знань, база даних, база моделей і програмна підсистема, що складається із системи керування базою даних (СУБД) і системи керування інтерфейсом між користувачем і комп'ютером.

1.4 Методи подання знань в інтелектуальних системах

Функціонування будь-якої інтелектуальної системи опирається на знання про проблемну область, які зберігаються в її пам'яті.

У цьому випадку предметна (проблемна) область повинна включати у свій состав знання про всі технологічні системи конкретних шахт, можливих і прецедентах, що мали місце, аваріях на гірничих підприємствах. Тому вибір способу подання знань є визначальним для організації структури інтелектуальної системи. При цьому обраний формалізм подання знань повинен володіти не тільки багатою декларативною семантикою, але й допускати ефективну обробку й застосування знань для рішення завдань предметної області.

В області штучного інтелекту розроблені кілька підходів до організації знань, що володіють певними перевагами й недоліками. Усього створено кілька десятків методів подання знань [69], більшість із них може бути зведене до наступних трьох основних моделей, що одержали найбільше поширення: продукції, семантичні мережі (СМ), фрейми.

Аналіз публікацій, у яких розглядаються теоретичні й практичні основи проектування інтелектуальних систем, [38, 39, 69-82] дозволяє зробити наступні висновки.

1. Обираний при проектуванні ІС формалізм подання знань повинен володіти не тільки багатою декларативною семантикою, але й забезпечувати:

- високу швидкість роботи зі знаннями;
- простоту поповнення бази знань;
- ефективний механізм виявлення помилок;
- адекватність подання предметної області.

2. На сучасному етапі робіт в області ІС часто використовується змішана форма подання знань, що базується на синтезі фреймової та продукційної моделі подання знань. Продукційно-фреймова модель, сполучаючи переваги як процедурного (продукції), так і декларативного (фрейми) підходу до подання знань, найбільше повно відповідає сформульованим вище вимогам.

1.5 Засоби концептуального моделювання предметної області

Концептуальне моделювання предметної області (ПрО) – один з основних етапів проектування будь-якої автоматизованої інформаційної системи, необхідний для виявлення, класифікації й формалізації відомостей про всі аспекти ПрО, що визначає властивості розроблювальної системи. Концептуальна модель ПрО будується без орієнтації на використання надалі програмні і технічні засоби та указує, яка інформація буде втримуватися, і оброблятися в проектованій системі, не стосуючись питань, як це буде реалізовано. Модель предметної області являє собою візуальне подання сутностей предметної області та відносин між ними, тобто специфікацію моделі предметної області, і є результатом моделювання.

Розглянемо основні підходи до моделювання предметних областей.

1.5.1 Структурний підхід до моделювання ПрО (SA, Structured Analysis)

При побудові концептуальної моделі даних ПрО часто використовується структурний аналіз [43, 80, 83-90], що базується на двох базових принципах: декомпозиції та ієрархічного впорядкування.

Для методу структурного аналізу характерно: розбивка на рівні абстракції з обмеженням числа елементів на кожному з рівнів (звичайно від 3 до 9); обмежений контекст, що включає лише істотні на кожному рівні деталі; дуальність даних й операцій над ними; використання строгих формальних правил запису; послідовне наближення до кінцевого результату.

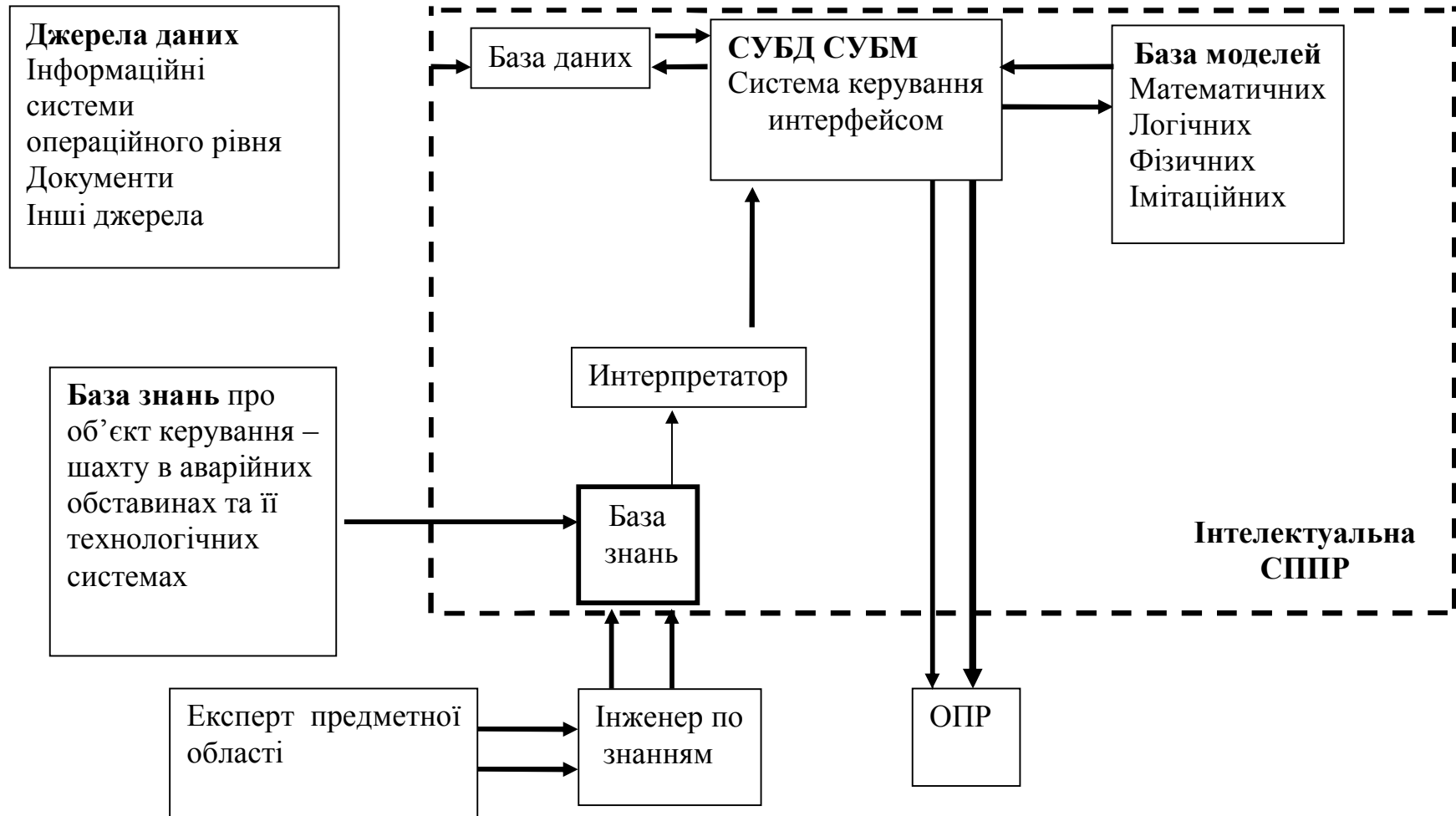


Рисунок 1.6 – Концептуальна схема інтелектуальної СППР

1.5.2 Діаграми зв'язок-сполучення-сутність-зв'язок

Діаграми зв'язок-сполучення-сутність-зв'язок (Entity-Relationship Diagram, надалі – ER-діаграми) були уведені Chen [91] як засіб для опису предметних областей. Зараз під цю модель підходять трохи родинних формалізмів (наприклад, діаграми класів в ОМТ [92-94]), використовуваних для проектування інформаційних систем і баз даних на концептуальному рівні. Діаграми сполучення-сутність-зв'язок описують предметну область в аспекті виділення класів об'єктів і відносин між об'єктами.

1.5.3 Модель RDFS

RDF Schema – це стандарт, розроблений консорціумом W3C, для представлення онтологічних знань. RDF Schema специфікує безліч усіляких припустимих схем даних. RDF-моделі предметних областей описуються за допомогою ресурсів, властивостей й їхніх значень [95, 96].

1.5.4 Технологія ОМТ (Object Modeling Technique)

Технологія ОМТ [92, 93, 97] заснована на об'єктній декомпозиції предметної області, що представляє у вигляді сукупності об'єктів, взаємодіючих між собою за допомогою передачі повідомлень. Як об'єкти предметної області можуть розглядатися конкретні предмети, а також абстрактні або реальні сутності (наприклад, газогенератор, об'єкт гасіння, сама пожежа і т.д.). Кожен об'єкт характеризується набором атрибутів, значення яких визначають його стан, а також набором операцій для перевірки й зміни цього стану. Кожен об'єкт є представником деякого класу однотипних об'єктів, що визначає їхні загальні властивості. Всі представники (екземпляри) того самого класу мають той самий набір операцій і можуть реагувати на ті самі повідомлення.

1.5.5 Онтологічний підхід

Всі перераховані вище підходи до моделювання ПрО мають обмеження – неможливість із їхньою допомогою виразити аксіоматичні знання, тобто задати аксіоми й правила виводу, побудовані на аксіомах.

Із середини 90-х років при створенні інтелектуальних систем СППР на етапі концептуального моделювання ПрО, починає домінувати підхід, пов'язаний з використанням онтології ПрО.

Онтології ПрО є новими методами подання й обробки знань і запитів. Вони дозволяють точно й ефективно описувати семантику даних для деякої предметної області й вирішувати проблему несумісності й суперечливості понять. Тому онтології одержали широке поширення в рішенні проблем подання знань й інженерії знань, семантичної інтеграції інформаційних ресурсів, інформаційного пошуку й т.д.

У штучному інтелекті онтології згадуються в контексті з такими поняттями як концептуалізація, знання, подання знань, системи, засновані на знаннях. [69, 99, 98-106].

Одне з перших визначень онтології в інформаційних технологіях було дано R. Neches [107]. Згідно R. Neches, онтологія визначає базові поняття ПрО й відносини між ними. А також правила для складання нових понять і відносин, для розширення словника.

Відомі інші підходи до визначення поняття онтології [108, 109] оскільки залежно від кожного конкретного завдання зручно інтерпретувати цей термін по-різному: від неформальних визначень до описів онтології в поняттях і конструкціях логіки й математики. Найпоширенішим на даний момент є визначення онтології, дане T.R. Gruber [101]: "онтологія – це точна специфікація концептуалізації". У 1997р. W.N. Borst [108] трохи модифікував це визначення: "онтологія – це формальна специфікація поділюваної концептуалізації".

Обидва ці визначення були пояснені R. Studer [110] у такий спосіб: "концептуалізація розуміється як абстрактна модель деякого явища або області реального миру, що визначає основні поняття цього явища або області. Під

терміном "точна" мається на увазі явне (формальне) завдання типів використовуваних понять й обмежень. Онтологія задається формально, тому що вона повинна бути машино-читаною. Термін "поділювана" означає, що онтологія являє собою знання, прийняте деякою групою, а не індивідом".

Неформально онтологія складається з термінів і правил використання цих термінів, що обмежують їхні значення в рамках конкретної області. На формальному ж рівні, онтологія це система, що складається з набору понять і набору тверджень про ці поняття, на основі яких можна будувати класи, об'єкти, відносини, функції й теорії. Онтологічне моделювання має справу з питанням про те, як декларативним образом, що допускає повторне використання, описати предметну область, відповідні словники типів, як обмежити використання цих даних, у припущенні розуміння того, що може бути виведене із цього опису.

В наш час важливість побудови онтологічних моделей предметних областей загальноновизнана [69, 99, 103, 110]. Для формального подання онтології предметних областей широко використовуються мови математичної логіки, так N. Guarino [103] пропонує використати мову вираховування предикатів першого порядку. У роботах Л.С. Клещева та І.Л. Артем'євій [111-113] проведений порівняльний аналіз математичних моделей онтології предметних областей. Автори відзначають [112], що апарат математичної логіки створювався не для побудови формальних онтологій, тому він не дозволяє дати формальний опис всіх властивостей онтологічної моделі досліджуваної предметної області. Зокрема, за межами синтаксису й семантики мови математичної логіки залишаються визначення значень і сортів імен сигнатури, розходження між пропозиціями, що представляють знання й онтологічні угоди предметної області. Бідність семантичного базису мов математичної логіки веде до того, що зміст онтологічних угод затемнюється громіздкістю технічних деталей, необхідних для вираження цього змісту на цих мовах. Крім того, мови математичної логіки не дозволяють уводити в описи онтології терміни, що мають високий рівень спільності й не беруть участь в описі ситуацій.

Для моделювання досліджуваної ПрО нами обраний запропонований Кліщовим А.С. і Артем'євій И.Л. [111, 112] математичний апарат – незбагачені системи логічних співвідношень, що усуває деякі з перерахованих вище недоліків.

Для того щоб визначення онтології були виражені, по можливості, точною мовою, вони конструюються на основі обмеженого набору базових термінів, називаного мета онтологією, таких як СУТНІСТЬ, ВІДНОШЕННЯ, АТРИБУТ, РОЛЬ й ін. [115].

1.6 Метод пошуку рішень в інтелектуальних системах на основі знань про прецеденти

При рішенні виникаючих проблемних ситуацій у погано формалізуємих предметних областях, актуальним є підхід, заснований на повторному використанні знань про аналогічні випадки (CBR – Case-Based Reasoning) [116-118, 120-123].

CBR-системи забезпечують інформаційну підтримку ОПР через пошук аналогічних ситуацій у своїй базі знань, що мали місце в минулому. Вони повторно пропонують уже, що використалося рішення, або адаптують їх для рішення поточної проблеми.

У порівнянні із системами, що використовують правила виводу як інструмент генерації альтернатив, підхід CBR має наступні основні переваги:

- знання, що накопичують у системах CBR, здатні більш адекватно відбивати проблемну область, чим визначений набір правил виводу, оскільки вони засновані на оцінках рішень проблемних ситуацій, підтверджених практикою;

- менш трудомісткий і більше природний процес передачі знань від експертів до системи, немає необхідності в посередництві інженера по знанням; легкість коректування знань;

- рішення проблеми, ідентифіковане системою в процесі пошуку в архіві проблемних ситуацій (АПС), більш зрозуміло й природно для користувача, а виходить, психологічно більше значимо, чим генероване на основі правил виводу;

- менш трудомісткий спосіб зберігання знань: АПС можуть бути реалізовані у звичайних реляційних СУБД, тоді як база знань в ЕС характеризується складністю структури, для реалізації якої традиційні СУБД не адаптовані;

- у більшості нечітких предметних областей, які характеризуються відкритістю та динамічністю, що охоплюють великий зріз знань про дійсність, практично неможливо їхній формальний опис у всій повноті. У той же час, тут може з успіхом використатися метод повторного рішення проблем на основі аналогічних випадків;

- системи, що забезпечують підтримку прийняття рішень на основі розробленої моделі, що використовує правила виводу, орієнтовані на стандартні ситуації, оскільки відбити в моделі всі можливі варіанти розвитку подій, а також передбачити правила, що забезпечують пошук неординарних рішень, практично представляють більші труднощі. CBR-системи, навпаки, орієнтовані на акумуляцію для бази знань, відмінних друг від друга ситуацій, у т.ч. нестандартних і відповідних їм рішень. Такий підхід становить більший інтерес для нашої предметної області, де високий ступінь "виключень із правил";

- засновані на правилах виводу системи використовують статичні структури предметного знання. CBR-системи орієнтовані на самонавчання, що спричиняє їх поводження, що змінюється в часі. Навчання відбувається, коли нова проблемна ситуація разом з рішенням додається в базу; залежно від результату рішення відбувається корекція правил індексування, що впливає на алгоритм пошуку аналогій.

Якщо рішення виявилось неефективним, воно асоціюється зі специфічними ознаками для даної ситуації, які додаються в систему як індекси.

Алгоритм функціонування CBR-системи в загальному випадку можна представити в такий спосіб.

Вирішувач, що є одним з основних компонентів CBR-систем, при рішенні поточного завдання, спочатку ініціює пошук ситуацій, схожих з поточною ситуацією. Кожна ситуація описується сукупністю характеристик (атрибутів, індексів), службовців як вхідні параметри для її визначення й ідентифікації. Пошук схожих проблемних ситуацій ведеться за значеннями атрибутів, що служать

параметрами функції схожості. Рішення, що відповідають ситуації, ідентифікованої за максимальним значенням функції схожості, може бути адаптоване до поточної ситуації, або залишено незмінним, що як підходить для рішення виниклої проблеми. Адаптація відбувається, якщо модуль адаптації передбачений у системі. А також, якщо система вирішує, що ситуація найбільш близька до проблемної ситуації, проте, істотно відрізняється від ситуації, що виникла в дійсності. Деякі системи не мають модуля адаптації внаслідок складності визначення відповідних правил. У випадку задовільного результату, рішення може бути додане в АПС. Разом з рішенням також зберігається інформація про результат рішення.

Кожна проблемна ситуація, що зберігається в АПС, може розглядатися як комбінація проблеми і її рішення. Пам'ять вирішувача складається з АПС, а також ряду процедур доступу й адаптації.

2 ЛОГІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО КЕРУВАННЯ СИЛАМИ Й ЗАСОБАМИ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ НА ШАХТАХ

У 2-му розділі описуються принципи побудови концептуальної моделі досліджуваної ПрО, структура базових понять й їхній взаємозв'язок. У розділі 2.1 розглядається структура концептуальної моделі досліджуваної предметної області й принципи її побудови. У розділі 2.2 описується модель процесу керування оперативними діями підрозділів ДВГРС при ліквідації аварій. У розділі 2.3 будується математична модель взаємодії причинно-наслідкових відносин, що впливають на зміну оперативної обстановки й вибір тактичних рішень посадовими особами органів керування при ліквідації аварій на шахтах.

2.1 Структура й принципи побудови моделі

Для прийняття обґрунтованих управлінських рішень керівник аварійних робіт (КАР) на шахтах, крім знання основних принципів керування оперативними діями при ліквідації аварій, повинен передбачати можливі сценарії розвитку оперативної обстановки, які характеризуються причинно-наслідковими зв'язками, що мають місце в досліджуваній предметній області (ПрО). Тому модель ПрО "Система підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах" складається із двох взаємозалежних за змістом частин, які можна назвати, відповідно, предметною й каузальною (від лат. *causa* – причина) онтологією, а саме:

1. Онтологія процесу керування оперативними діями при ліквідації аварій;
2. Онтологія причинно-наслідкових зв'язків, що мають місце при ліквідації аварій на шахтах.

У першій частині онтології моделюється процес прийняття управлінських рішень у ситуаціях, які однозначно визначають вибір тих або інших цілей й їхній пріоритет.

Онтологічні угоди каузальної онтології описують аспекти дійсності ПрО, що визначають дії керівників аварійних робіт (КАР) у необхідних онтологічних передумовах. Тому в центрі каузальної онтології досліджуваної ПрО знаходяться подання про причинно-наслідкові зв'язки й процеси, що протікають в умовах оперативної обстановки, які визначають прийняття посадовими особами тих або інших управлінських рішень.

Оскільки онтологія ПрО являє собою специфікацію незмінної частини знань про ПрО, що є результатом консенсусу експертів ПрО, то логічно використати в якості правил і обмежень, розроблювальної онтологічної моделі, вказівки й рекомендації з "Єдиних правил безпеки...", "Уставу ДВГРС..." [20, 23].

Онтологічна модель ПрО відповідно до робіт [9-10, 46-48] будується як незбагачена система логічних співвідношень другого порядку. Тут кожне логічне співвідношення має змістовне тлумачення, а вся система логічних співвідношень є явне подання концептуалізації, що розуміється і як множина ситуацій, і як множина систем знань предметної області [151]. Такий підхід дозволяє при побудові онтологічної моделі ПрО використати логічні операції, арифметичні операції, операції інтегрування, диференціювання й інших.

Метою розробки онтології керування оперативними діями при ліквідації аварій на шахтах є формалізація контекстно-незалежної частини процесу прийняття рішень, що згодом може доповнюватися новими модулями, що враховують специфіку ситуацій, у яких може опинитись КАР й інші особи, що беруть участь у прийнятті управлінських рішень. Тому в даній науково-дослідній роботі не ставиться завдання охоплення всього спектра термінів і визначень, необхідних для підготовки й прийняття рішень КАР, а розглядаються тільки ті поняття, які визначають обов'язкові тактичні завдання в різних ситуаціях після запровадження в дію ПЛА.

Центральною ланкою онтології є модуль "Визначення тактичних цілей". Всі інші частини онтології можуть тільки доповнювати дану модель, не вносячись у вже побудовану частину ніяких змін. Так, модуль "Визначення тактичних цілей" може бути доповнений модулями: "Тактичні можливості підрозділів ДВГРС", "Евакуація

людей із шахти в екстремальних умовах" та ін., звужуючими область припустимих ситуацій, у яких опиняється КАР. Щоб розширити можливості КАР по прогнозуванню можливих ситуацій, центральний модуль доповнюється модулем логічної моделі причинно-наслідкових відносин.

2.2 Модель процесу керування оперативними діями при ліквідації аварій на шахтах

Ієрархічна модель онтології досліджуваної ПрО показана на рис 2.1. Модуль "Сутності" є моделлю метаонтології, призначеною для опису глобальних допоміжних термінів, які дозволяють конструювати інші модулі ієрархії (крім каузальної онтології) по єдиному зразку.

Описи термінів кожного з модулів, крім модуля метаонтології, використовуються не тільки в ньому самому, але й у кожному з його нащадків, де вони можуть бути розширені й доповнені.

Прийняти рішення – це означає прийти до певного виводу про необхідність певних дій у результаті оцінки оперативної обстановки що склалась на аварії. Онтологія процесів керування оперативними діями при ліквідації аварій повинна охоплювати весь спектр термінів і визначень, що відносяться до процедур підготовки, прийняття й оцінки можливих наслідків реалізації прийнятих КАР рішень.

Виходячи зі сказаного, виділяється ряд термінів онтології процесів керування оперативними діями при ліквідації аварій на шахтах: ПОРЯТУНОК ЛЮДЕЙ, ПРОЦЕСИ, ОПЕРАТИВНІ ДІЇ, МЕТА, СИЛИ ТА ЗАСОБИ ПОРЯТУНКУ ЛЮДЕЙ, ОБ'ЄКТИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ, ВОГНИЩА ПОЖЕЖІ, ОСНОВНІ ФАКТОРИ ПОЖЕЖІ, РОЗБІР ЗАВАЛІВ, ДЕГАЗАЦІЯ ВИРОБКІВ, КОНТРОЛЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА, ВЕНТИЛЯЦІЙНІ РЕЖИМИ та ін. Всім цим (і багатьом іншим) термінам даються формалізовані визначення з урахуванням їх відносин з іншими визначеннями онтології ПрО. Тому всі побудовані визначення онтології процесів керування оперативними діями при ліквідації аварій на шахтах

взаємозв'язані між собою і взаємозалежні. Для опису онтологічної моделі ПрО, крім базових термінів, використовуються системи логічних співвідношень різного порядку.

При розробці формальної логічної мови й визначенні базових термінів, необхідних для побудови онтологічної моделі ПрО "Система підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах" використалися підходи, запропоновані в роботах [111-114].

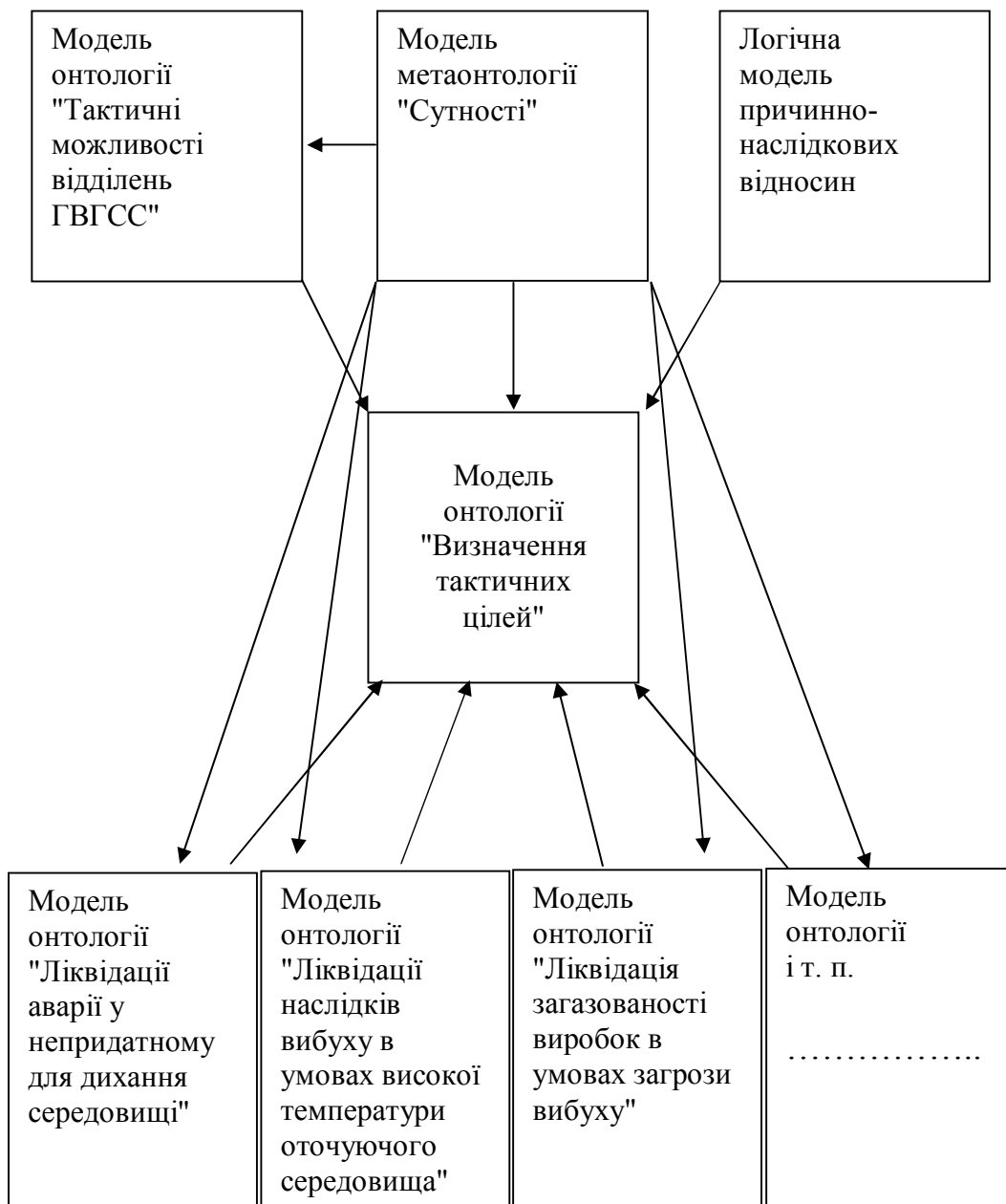


Рисунок 2.1 – Структура ієрархічної моделі онтології предметної області "Керування діями підрозділів ДВГРС при ліквідації аварій на шахтах"

Нижче розглядаються основні положення побудованої онтології процесу підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах у вигляді логіко-лінгвістичних алгоритмів для програм визначення небезпечних зон в гірничих виробках.

2.2.1 Сутності знань моделі онтології "Оперативні дії"

Сутність ВСІ ОБ'ЄКТИ ПрО позначає всі об'єкти ПрО в моделі знань

ВСІ ОБ'ЄКТИ ПрО \in СУТНОСТІ ЗНАНЬ.

Екземплярами сутності ВСІ ОБ'ЄКТИ ПрО є позначення всіх об'єктів предметної області

χ (ВСІ ОБ'ЄКТИ ПрО) = {N}.

Підмножинами сутності «ВСІ ОБ'ЄКТИ ПрО» є наступні:

«ВСІ ОБ'ЄКТИ ЕВАКУАЦІЇ – ГІРНИКИ» \cup

«ВСІ ОБ'ЄКТИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ (ШАХТИ)» \cup

«ПРОСТІР (ТЕРИТОРІЯ ЗОНИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ)» \cup

«ВСІ ОБ'ЄКТИ ЗАСОБІВ ПОЖЕЖОГАСІННЯ»

.....

\subseteq «ВСІ ОБ'ЄКТИ ПрО».

Підмножинами сутності

«ВСІ ОБ'ЄКТИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ»

є наступні об'єкти:

«ВСІ ПІДЗЕМНІ СПОРУДЖЕННЯ» \cup

«ВСІ ГІРНИЧІ ВИРОБКИ» \cup

«ВСЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ» \cup

«ВСІ ОБ'ЄКТИ ЗБЕРІГАННЯ ВВ І ЛВЖ» \cup

.....

\cup «ВСІ ОБ'ЄКТИ НАЗЕМНОГО І ПІДЗЕМНОГО ТРАНСПОРТУ»

\subseteq «ВСІ ОБ'ЄКТИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ».

«ВСІ ОБ'ЄКТИ КОМУНІКАЦІЇ НА ШАХТІ» \cup

«ВСІ ОБ'ЄКТИ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШАХТИ» \subseteq

..... \subseteq «ПРОСТІР

ЗОНИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ» \cup

«ВСІ ПІНО- І ГАЗОГЕНЕРАТОРИ» \cup «ВСІ ВОГНЕГАСНИКИ» \cup

.....

«ВСІ ОБ'ЄКТИ ВОДОПОСТАЧАННЯ»

\subseteq «ВСІ ОБ'ЄКТИ ЗАСОБІВ ПОЖЕЖОГАСІННЯ».

Сутність ВСЯ ПОЖЕЖНА ТЕХНІКА І ПТВ позначає всю множину сил і засобів, застосовуваних при гасінні пожеж на шахтах

ВСЯ ПОЖЕЖНА ТЕХНІКА Й ПТВ \in СУТНОСТІ ЗНАНЬ.

Екземплярами сутності ВСЯ ПОЖЕЖНА ТЕХНІКА І ПТВ є множина позначень засобів пожежогасіння.

χ (ВСЯ ПОЖЕЖНА ТЕХНІКА Й ПТВ) = {N}

Підмножинами множини ВСЯ ПОЖЕЖНА ТЕХНІКА І ПТВ є наступні множини:

«ВСІ ОСНОВНІ ПА» \cup «ВСЯ СПЕЦІАЛЬНА ТЕХНІКА» \cup «ВСІ ЗАСОБИ ПТ» \cup «ПОЖЕЖНА СИСТЕМА ШАХТИ» \cup «ВСІ ПРИСТРОЇ ЗВ'ЯЗКУ Й КЕРУВАННЯ» \cup «ВСІ ВОГНЕГАСЯЧІ РЕЧОВИНИ» \cup «ВСЕ ПОЖЕЖНЕ УСТАТКУВАННЯ» \cup

.....

\cup «ВСІ ЗАСОБИ ПОРЯТУНКУ ЛЮДЕЙ» \subseteq «ВСЯ ПОЖЕЖНА ТЕХНІКА І ПТВ».

Сутність ВСІ МІСЦЯ позначає всі назви місць у моделі знань.

ВСІ МІСЦЯ \in СУТНОСТІ ЗНАНЬ

Екземплярами сутності ВСІ МІСЦЯ є позначення всіх місць у зоні ліквідації аварії (найменування гірничих виробок або їхніх ділянок).

χ (ВСІ МІСЦЯ) = {N}

2.2.2 Сутності ситуацій моделі онтології "Оперативні дії"

Сутність ситуації містить множину термінів предметної області, що залежать тільки від оперативного часу на аварії і уявляючи собою функцію, що на момент спостереження повертає множину значень з області припустимих значень даної сутності ситуації.

В онтологічній моделі "Оперативні дії" розглядаються наступні сутності ситуацій:

Сутність ОПЕРАТИВНА ОБСТАНОВКА, що позначає множину процесів і подій, що відбуваються протягом всієї операції по ліквідації аварії.

ОПЕРАТИВНА ОБСТАНОВКА \in СУТНОСТІ СИТУАЦІЇ,

а відповідний функціональний термін оперативна обстановка відображає момент спостереження на множину довільних позначень

ОДЗ (оперативна обстановка) = $\{N\}$.

Сутність ВСІ ПОСТАВЛЕНІ ЦІЛІ, що позначає всю множину цілей, поставлених перед підрозділами ДВГРС протягом процесу

ВСІ ПОСТАВЛЕНІ ЦІЛІ \in СУТНОСТІ СИТУАЦІЇ.

Відповідно функціональний термін всі поставлені цілі відображає момент спостереження на множину позначень: ОДЗ (всі поставлені цілі) = $\{N\}$

(ПОРЯТУНОК ЛЮДЕЙ, ЛІКВІДАЦІЯ ГОРІННЯ, ЛОКАЛІЗАЦІЯ ГОРІННЯ, ЗАПОБІГАННЯ ВИБУХУ, ЗАХИСТ ОБ'ЄКТІВ, ПОДАЧА ОБ) \subseteq ОДЗ (всі поставлені цілі).

Сутність ВСІ ОПЕРАТИВНІ ДІЇ, що позначає всю множину дій, чинених учасниками ліквідації аварії протягом усього процесу.

ВСІ ОПЕРАТИВНІ ДІЇ \in СУТНОСТІ СИТУАЦІЇ, а функціональний термін всі оперативні дії відображає момент спостереження на множину довільних позначень.

ОДЗ (всі оперативні дії) = $\{N\}$

2.2.3 Допоміжні терміни

Крім базових термінів, в онтологічній моделі визначений ряд допоміжних, функціональних термінів, таких як:

Функція притягнуті сили й засоби, що повертає кількість сил і засобів, притягнутих у цей момент для ліквідації аварії.

Притягнуті сили й засоби $\equiv (\lambda (t: I[1. \text{ число моментів}]) (U (r: \text{ всі відділення } (t)) (\times \text{ особовий склад } (r, t)), \text{ засобу порятунку, ПТ, ПТВ } (r, t)))$.

Прийmemo властивість рівень для деяких цілей рівним 1.

$(t [1. \text{ число моментів}]), (v: \text{ всі поставлені цілі } (t)) v \in \{\text{ПОРЯТУНОК ЛЮДЕЙ, ЛІКВІДАЦІЯ ГОРІННЯ, ЛОКАЛІЗАЦІЯ ГОРІННЯ, ЗАПОБІГАННЯ ВИБУХУ, ЗАХИСТ ОБ'ЄКТІВ}\} \Rightarrow \text{РІВЕНЬ } (v) = 1$.

Властивість цілей – **пріоритет** визначає порядок ведення дій при ліквідації аварій. В першу чергу сили й засоби зосереджують у достатній кількості для рішення того оперативного завдання (реалізації мети), пріоритет якого в цей момент часу дорівнює 1.

2.2.4 Онтологічні угоди

Онтологічні угоди – це явно сформульовані угоди про обмеження на суть термінів, у яких описується ПрО [47]. Інакше кажучи, онтологічні угоди представляються множиною обмежень на інтерпретацію імен у моделі онтології ПрО.

Приклади побудованих онтологічних відносин приводяться нижче.

Фактична кількість сил і засобів вважається більше кількості, що вимагається для досягнення деякої поставленої мети, якщо кожен елемент множина і фактична кількість сил і засобів більше аналогічного елемента множина і потр. кількість сил і засобів.

$(t: 1 \text{ M } 1, \text{ число моментів}]), (v: \text{ всі поставлені цілі } (t)),$

(n: факт. кількість сил і засобів (v)), (m: кількість сил і засобів (v)) (U (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)))) \Rightarrow / (V (i: I[1, μ (n(v, t))]) (π (2, el(i, n(v, t))) < π (2, el(i, m(v, t)))) \Rightarrow 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)))) \Rightarrow 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)))) \Rightarrow n(v, t) > m(v, t)).

Якщо потрібен порятунок людей, пріоритет основної мети порятунок дорівнює 1. Якщо необхідно запобігти вибуху, а порятунок людей не потрібен, пріоритет основної мети запобігання вибуху дорівнює 1. Якщо не потрібно запобігати вибух і рятувати людей, і сил і засобів досить для локалізації й ліквідації пожежі пріоритет основної мети ліквідація горіння дорівнює 1. Якщо не потрібно запобігати вибуху і рятувати людей, сил і засобів недостатньо для локалізації й ліквідації пожежі пріоритет основної мети захист об'єктів дорівнює 1. Якщо горінням охоплений об'єкт, що не представляє собою цінності, і створилася загроза об'єкту, що перебуває близько, пріоритет основної мети «захист об'єктів дорівнює 1.

(t: I[1, число моментів]), (f: всі вогнища пожежі (t)), (v: всі поставлені цілі (t)), /порятунок людей \in v(t) \Rightarrow пріоритет (порятунок людей) = 1, порятунок людей \notin v(t) & (V (ff: f) (вибух \in ОФП(ff(t)))) \Rightarrow запобігання вибуху \in v(t) & пріоритет (запобігання проявів ОФП) = 1, ліквідація горіння \in v(t) & (запобігання проявів ОФП) = 1 \notin v(t) & (факт. кількість сил і засобів (t, ліквідація горіння) \geq необхідної кількості сил (t, ліквідація горіння) \Rightarrow пріоритет (ліквідація горіння) = 1, (ліквідація горіння \in v(t) & запобігання проявів ОФП \notin v(t) & факт. кількість сил й засобів (t, ліквідація горіння) \leq необхідної кількості сил і засобів (t, ліквідація горіння)) V ({ліквідація горіння, запобігання проявів ОФП} \cap v(t) = \emptyset) \Rightarrow пріоритет (захист об'єктів) = 1.

Вирішальний напрямок оперативних дій ВНОД - місця зосередження сил і засобів, де рішення завдання забезпечується найбільш ефективним образом. ВНОД є множина місць, де зосередження сил і засобів повинне бути в кількості, достатнім для досягнення мети із пріоритетом рівним 1.

(t: I [1, число моментів-1]), (v: всі поставлені цілі(t)) (v: {(w: v) пріоритет(w) = 1}) \Rightarrow РНОД(t) = позиції підрозділів ДВГРС(v,t) & (/факт. кількість сил і засобів (v', t) >

необхідної кількості сил і засобів (v', t) & (факт. кількість сил і засобів ($v \setminus v', t$) < необхідної кількості сил і засобів ($v \setminus v', t$) \Rightarrow (факт. кількість сил і засобів ($v', t+1$) = необхідної кількості сил і засобів ($v', t+1$) & (факт. кількість сил і засобів ($v \setminus v', t+1$) > необхідної кількості сил і засобів ($v \setminus v', t+1$), (факт. кількість сил і засобів ($v' \setminus v', t$) < необхідної кількості сил і засобів (v, t) \Rightarrow (факт. кількість сил і засобів ($v', t+1$) = притягнуті сили й засоби ($t+1$)).

Якщо створюється погроза вибуху, то сили й засоби зосереджують і вводяться в місцях, де дії підрозділів забезпечать запобігання вибуху

(t : I[1, число моментів]), (v : всі поставлені цілі (t)), (f : всі вогнища пожежі (t)), (r : всі відділення (t))(V (ff:f) (вибух \in ОФП (ff, t) & імовірність прояву (ff, t) = висока) \Rightarrow запобігання вибуху $\in v$ (t) & (V ($r':r$)) позиції підрозділів ДВГРС (v, t) \subseteq оперативні позиції (r', t)).

Якщо небезпечні фактори пожежі загрожують життю людей й їхній порятунок неможливий без використання технічних засобів, введення вогнегасних засобів. Є погроза поширення вогню й диму по шляхах евакуації. Передбачається застосування небезпечних для життя людей вогнегасних речовин і сумішей. Сили і засоби зосереджують і вводяться для забезпечення рятувальних робіт:

(t : I[1, число моментів-1]), (v : всі поставлені цілі (t)), (e : люди на об'єкті(t)), (f : всі вогнища пожежі (t)), (r : всі відділення (t)) кількість (e, t) > 0 & ((V(ff:f) ((вибух \in ОФП (ff, t) & імовірність прояву (ОФП (ff, t) = висока & місця прояву (ОФП(ff, t)) \cap місцезнаходження (e, t) $\neq \emptyset$ & можливість самостійної евакуації (e, t) = (r, t) \vee ({сильне задимлення, поширення горіння} \subseteq ОФП(ff, t) & місця прояву(ОФП (ff, t)) \cap шляхи евакуації (e, t) $\neq \emptyset$) \vee (подача ПТВ $v(t)$ & місцезнаходження (e, t) \cap (шляхи евакуації, (e, t) \cup оперативні позиції (t , подача ПТВ)) $\neq \emptyset$ & використовувані ОГВ, (t , подача ОГВ) \subseteq засобу ПТ і ПТВ (r, t) & небезпека для життя (використовувані ОГВ (t, \dots)) = ...) \Rightarrow порятунок людей $\in v(t)$.

Якщо горінням охоплена частина об'єкта, і воно поширюється на інші його частини або на сусідні об'єкти, то сили й засоби зосереджують і вводяться на ділянки, де подальше поширення вогню може привести до найбільшого збитку

(t : $I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі (t)), (e : ВСІ ОБ'ЄКТИ ПТ) (p, p_2, p_3 : ВСІ МІСЦЯ), (f : всі вогнища пожежі (t)), (e : всі відділення (t))

$\{p, p_2\} \subset$ ділянки (e) & $p_2 = \{p': p, p' \neq p\}$ & $p =$ зона горіння (f, t) & $p_2 =$ зона горіння($f, t+1$) \Rightarrow захист об'єктів $\in v(t)$ & оперативні позиції (r, t) = $\{j$ ділянки(p_2) втрати (f, j)= $\sup(\{j_1$: ділянки (p_2) збиток (f, j_1)) $\}$.

Якщо горінням охоплено окремо розташований об'єкт і немає погрози поширення вогню на сусідні об'єкти, то основні сили й засоби зосереджують і вводяться в місцях найбільш інтенсивного горіння

(t : $I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі (t)), (e : ВСІ ОБ'ЄКТИ ПТ), (p : ВСІ МІСЦЯ) (f : всі вогнища пожежі(t)), (r : всі відділення (t)) зона горіння(f, t) = e & зона горіння ($f, t+1$) $\setminus e = \emptyset \Rightarrow$ ліквідація. горіння $\in v(t)$ & оперативні позиції (r, t)= $\{p'$: ділянки (e) зона горіння (f, t) = p' & інтенсивність горіння(f, t)= найбільш інтенсивне. $\}$.

Якщо горінням охоплений об'єкт, що не представляє собою цінності, і створилася погроза об'єкту, що близько перебуває, то основні сили й засоби зосереджують на не палаючому об'єкті.

(t : $I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі (t)), (v : ВСІ ОБ'ЄКТИ ПТ), (e_1 : e), (p : ВСІ МІСЦЯ), (f : всі вогнища пожежі (t)), (r : всі відділення (t)) $e \neq e_1$ & зона горіння (f, t) = e & зона горіння ($f, t+1$) = e_1 & цінність(e) \in {низька} & цінність (e) \in {середня, висока, дуже висока} \Rightarrow захист об'єктів $\in G v(t)$ & оперативні позиції(r, t) \subset ділянки (e).

Розгортання від першого, прибулого на місце, підрозділи ДВГРС із протипожежним устаткуванням.

(t : $I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі), (r : всі відділення(t)) {ліквідація горіння, захист об'єктів, порятунок людей, запобігання прояву ОФП} $\subseteq v(t)$ & КІЛЬКІСТЬ ПОДАНОГО ПРОТИПОЖЕЖНОГО УСТАТКУВАННЯ (v, t) = 0 & оперативні позиції (r, t) = $\emptyset \Rightarrow$ оперативні позиції ($r, t+1$) $\neq 0$ & оперативні позиції ($r, t+1$)=ОФП ($t+1$).

Якщо вогнегасних речовин для успішного виконання завдання недостатньо, то організується їхня доставка до місця пожежі.

($t: I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі(t)) ($V (v': v)$ фактична кількість ОГВ (v',t) \leq необхідна кількість ОГВ(v',t) \Rightarrow доставка ОГВ $\in v(t)$).

В умовах недостатньої видимості, у тому числі при сильному задимленні організується висвітлення місця аварії (пожежі)

($t: I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі(t)) ($V (v': v)$ недостатня видимість(позиції підрозділів ДВГРС ($v': t$)) = \Rightarrow висвітлення $\in v(t)$ & об'єкт висвітлення (t) = позиції підрозділів ДВГРС (v',t).

2.2.5 Приклад формалізованого опису прийняття управлінських рішень при ліквідації аварій у непридатній для подиху середовищу

Нормативними документами визначені порядок і вимоги до організації роботи з ліквідації аварій у непридатному для подиху середовищу, які з використанням побудованої онтології формалізуються таким чином:

Відділенню, що виконує роботи в загазованій атмосфері або, у складних і небезпечних умовах на свіжому струмені в найкоротший строк виставляється резерв, що розміщується в гірничих виробках зі свіжим струменем повітря, розташованих поблизу загазованої зони, або на підземній базі.

($t: I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі(i)) (r : всі відділення(t)) ($V (v' : v)$ середовище непридатне для подиху \cup небезпечних умовах гірничих виробок зі свіжим повітрям (позиції відділень поблизу загазованої зони(v' ,t)) = так & ($V (r' : r)$ (r' , t) = позиції відділень на підземній базі (v' ,t))) $\in v(t)$ & резерв(r', t) $\neq \emptyset$.

Якщо після закінчення строку, розрахованого для виконання роботи в загазованій атмосфері та у зоні високої температури відділення, що працює не повернулося на підземну базу або зв'язок з ним припинився, то резервне відділення негайно направляється до нього, сповістивши про це на командний пункт.

($t: I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі(t), (r : всі відділення (r)), (e : всі події(t))($V (r': r)$ відділення ($r' =$ так & (не повернулося на базу (r', t) $\neq \emptyset$ \vee припинення зв'язку (r', t) $\in e(t)$) \Rightarrow {негайне направлення резервного відділення, повідомлення на КП} $\subset v(t)$).

При роботі в непридатній для подиху атмосфері відділення повинне складатися не менш чим з п'яти чоловік, включаючи і його командира. У таких умовах забороняється залучати до виконання робіт відділення, укомплектовані респіраторниками з різних взводів.

(t : $I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі(i)) (r : всі відділення ДВГРС (t)) ($V (v' : v)$ середовище непридатна для подиху (позиції відділення ДВГРС (v' , t)) = так & ($V (r' : r)$ позиції (r' , t) = позиції відділення ДВГРС (v' , t))) $\Rightarrow ((n: I [n \geq 5])$ особовий склад(r' , t)= $(U (m: I[1, \infty]) \{(\text{респіраторник}, n), (\text{командир відділення ДВГРС}, 1)\})$)

При залученні на гасіння пожежі сил і засобів по підвищеному номері (рангу) пожежі; організації на місці пожежі трьох і більше ділянок організується оперативний штаб

(t : $I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі(t)), (r : всі відділення(t)) $\text{ранг(ПОЖЕЖА)} > 1 \vee \text{кількість (оперативні ділянки (r, t), t)} \geq 3 \Rightarrow \text{організація оперативного штаба} \in v(t)$.

Роботи з ліквідації аварій у непридатній для подиху середовищу варто проводити в засобах індивідуального захисту органів подиху (СІЗОД - респіраторах).

(t : $I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі(t)), (r : всі відділення (t)) ($V (v' : v)$ середовище непридатне для подиху (позиції підрозділів ДВГРС) (v' , t)) = так) \Rightarrow застосування респіраторів = так.

Для ведення робіт у непридатному для подиху середовищу з використанням респіраторів необхідно:

- сформувати групи РПГ кожне із трьох-п'яти чоловік, включаючи командира ланки, що мають однотипні засоби захисту органів подиху (респіратори);
- призначити в групи РПГ досвідчених командирів, проінструктувавши їх про міри безпеки й режим роботи з урахуванням особливостей об'єкта, що складається обстановки на аварії;
- визначити час роботи й відпочинку груп РПГ, місце їхнього знаходження;

- при роботі в умовах високих температур визначити місце включення в респіратори й порядок зміни груп РПГ;
- передбачити резерв групи РПГ.

(t: I[1, число моментів]), (v: всі поставлені цілі(i)) (r: всі підрозділи ДВГРС (t) (V (v' : v) середовище непридатна для подиху (позиції підрозділів ДВГРС (v', t)) = так & (V (r' : r) позиції (r', t) = позиції підрозділу ДВГРС (v', t))) ⇒ ((n:I[2,4]) особовий склад(r', t)=(U (m: I[1, ∞]) {(респіраторник, n), (командир РПГ, 1)}))&{(СИЗОД, n*m, шт.)} із засобу ПТ ПТВ((r', t) & інструктаж ((d: ВСІ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ) d) ∈ (U (is: особовий склад (r', t)) (1, Is) =командир групи РПГ)) ∈ v(t) & резерв(r', t) ≠ ∅ & визначення параметрів G v(t) & {час роботи в респіраторах(r', t), час відпочинку(r', t), резерв(r', t), місцезнаходження(r', t) } ⊂ параметри(визначення параметрів) & (умови високих температур (позиції підрозділів ДВГРС (v', t))) = да ⇒ визначення параметрів ∈ v(t) & {місце включення в респіратори (r', t)} ⊂ параметри (визначення параметрів))

При одержанні повідомлення про подію в групі РПГ (або припиненні з нею зв'язку) негайно вислати резервну групу (групи) для надання допомоги. Викликати медичних працівників із складу гірничих рятівників й організувати пошук потерпілих.

(t: I[1, число моментів]), (v: всі поставлені цілі(t), (r: всі підрозділи (r)), (e: всі події(t))(V (r': r) група РПГ (r' = так & (нешасний випадок з л/с (r', t) ≠ ∅ v припинення зв'язку (r', t) ∈ e(t)) ⇒ {напрямок резервної групи РПГ, виклик медичних працівників із состава гірничорятувальників, пошук потерпілих} ⊂ v(t).

При складних тривалих аваріях, на яких використовуються кілька груп РПГ, організувати КПП, визначити необхідну кількість постів безпеки, місця їхнього розміщення й порядок організації зв'язку з оперативним штабом і КАР.

(t: I[1, число моментів]), (v: всі поставлені цілі(t), (r: всі відділення(t)) ^μ ((r': r) груп РПГ (r') = так)) ≥ 3 ⇒ {організація КПП, організація постів безпеки, порядок організації зв'язку} ⊂ v(t).

У гірничій виробці, підземні спорудження великої довжини необхідно направляти одночасно не менш двох груп РПГ. При цьому на пості безпеки варто

виставляти одну групу РПГ у повній готовності для надання екстреної допомоги особовому складу групи, що перебуває в непридатному для подиху середовищу:

(t : $I[1, \text{число моментів}]$), (v : всі поставлені цілі(t)). (Γ : всі групи РПГ (t)), (e : всі події(t)), ($\Gamma_1: \{r\}(V(\text{obj} - \text{ВСІ ОБ'ЄКТИ ПТ}) \text{obj} \in \{\text{ПІДЗЕМНЕ СПОРУДЖЕННЯ\} \& = \text{ПІДЗЕМНИЙ ВИРОБИТОК} \Rightarrow \text{ДОВЖИНА}(\text{obj}) = \text{більша}) / \Rightarrow \Gamma_1 = \{((r': \Gamma) \text{РПГ}(r') = \text{так}) \& \mu(\Gamma_1) \geq 2 \& \text{напрямок РПГ}(M) \in v(t) \& (V(r': \Gamma) \text{РПГ}(r') = \text{так } r' \in \text{пост безпеки})$

Області допустимих значень (ОДЗ).

ОДЗ (ООП) = {вибух, запалення, сильне задимлення, обвалення конструкції, обвалення гірничого масиву, поширення горіння, ударна хвиля, викид CH_4 , виділення отрутних газів, радіація, вплив високої температури} ОДЗ (місця прояву, зона горіння, зона задимлення, оперативні позиції, позиції підрозділів ДВГРС, ділянки, РНОД, об'єкти висвітлення, місце включення _в_ респіратори) = { } ВСЕ МІСЦЯ ОДЗ (процеси) = {сильне задимлення, поширення горіння, виділення отрутних газів, радіація, вплив високої температури}

ОДЗ (події) = {вибух, запалення, обвалення гірничого масиву, ударна хвиля, високотемпературний викид газу,...} У події з л/с.

Областю допустимих значень сутності особовий склад є множина 2-х-местних кортежів, 1-м елементом яких є екземпляр сутності ВСІ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ, 2-м-кількість учасників ліквідації аварії цієї спеціалізації.

ОДЗ (особовий склад) = { w : (\times ВСІ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ: $R[0, \dots]$)}

Областю припустимих значень сутності засобу ПТ ПТВ є множина 3-х-містних кортежів, 1-м елементом яких є екземпляр сутності ВСЯ ПОЖЕЖНА ТЕХНІКА Й ПТВ, 2-м – його кількість, а 3-м – одиниця виміру.

ОДЗ (засобу ПТ ПТВ) = { w : (\times ВСЯ ПОЖЕЖНА ТЕХНІКА Й ПТВ. $R[0, \dots]$), { N }} ОДЗ (треб. кількість сил і засобів, факт кількість сил...і засобів) = {(\times УСЕ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ, $R[0, \dots]$)} \cup {(\times ВСЯ ПОЖЕЖНА ТЕХНІКА Й ПТВ, $R[0, \infty]$), { N }} ОДЗ (ВСІ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ) = {керівник групи, командир відділення ДВГРС, } ОДЗ (ДВГРС, застосування респіраторів, середовище непридатна для подиху) = { L }.

2.3 Логіко-математична модель причинно-наслідкових відносин, що впливають на вибір управлінських рішень при ліквідації аварій на шахтах

Об'єктом онтологічного моделювання у даному розділі є причинно-наслідкові зв'язки, пов'язані з ліквідацією аварій на різних об'єктах, тобто ті концептуальні подання про причинно-наслідкові зв'язки, які суттєві при рішенні тактичних завдань по знаходженню виходу з проблемних ситуацій.

Математична модель взаємодії причинно-наслідкових відносин різних типів для предметної області "Система підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах" побудована у вигляді системи логічних співвідношень другого порядку [46, 47].

2.3.1 Основні принципи побудови моделі проблемної області

Опис побудованої онтологічної моделі має наступну структуру. На початку розглядаються концептуальні подання ПрО, покладені в основу побудови онтологічної моделі й угоди про позначення. Далі вводиться система сортів, невідомі й параметри моделі онтології, допоміжні функції й предикати, обмеження цілісності невідомих і параметрів, а також співвідношення між невідомими й параметрами онтології. Описуються різні види шкал, використані для подання об'єктів і констант предметної області.

Дійсність частини моделювання досліджуваної ПрО являє собою множина ситуацій, кожна з яких є інформація на певний момент часу про зміну оперативної обстановки на аварії (часовий відрізок може включати минуле, сьогодення й майбутнє). Ця інформація пов'язана з рішенням загального завдання планування оперативних дій при ліквідації аварій на шахті.

Характеристики, що описують оперативну обстановку на аварії, умовно розділяються на зовнішні стосовно системи керування (спостереження й моніторингу) і внутрішні, які є предметом планування.

Основним типом зв'язків, що характеризують ситуацію на аварії, є причинно-наслідкові зв'язки (ПНС) між, розглянутими вище, поняттями (сутностями).

Цілеспрямований підхід до побудови онтологічної моделі для причинно-наслідкових відносин припускає розгляд пари об'єктів: "вирішальна система (внутрішні процеси) – оперативна обстановка (зовнішні спостереження (моніторинг))".

Ця пара понять (об'єктів) впливає на вибір управлінських рішень при ліквідації аварій.

Оперативна обстановка на аварії характеризується:

- ознаками (атрибутами об'єктів ПрО);
- подіями;
- процесами;
- узагальненнями.

Вирішальна система характеризується діями учасників ліквідації аварії.

Причинно-наслідкові зв'язки в логічній моделі процесу ліквідації аварії показані на рис. 2.2. Кожен причинно-наслідковий зв'язок (ПНЗ) має причину, наслідок і розвивається в часі відповідно до одного з можливих варіантів закономірності свого розвитку. ПНС також визначається значеннями факторів, що впливають, і, можливо, причинами її що викликали.

У ролі факторів, що впливають (і необхідних умов), виступають атрибути, узагальнення, процеси й дії підрозділів ДВГРС.

Значення ознаки можуть змінюватися в результаті одночасного впливу на нього декількох різних причин. Передбачається, що весь проміжок часу спостереження кожної ознаки може бути розділений на періоди. На кожному з яких значення ознаки є наслідком тільки одного причинно-наслідкового зв'язку (із всіх можливих). При цьому кожен причинно-наслідковий зв'язок може включати у вигляді факторів, що впливають, тільки одну основну причину й кілька другорядних. Між різними типами причинно-наслідкових зв'язків встановлюється частковий порядок, що розглядається в розділі "допоміжні функції й предикати".

Для побудови логічної моделі процесу оперативних дій при ліквідації аварій використовуються наступні типи причинно-наслідкових зв'язків, наведені табл. 2.1.

2.3.2 Базові поняття й визначення

Для побудови математичної моделі причинно-наслідкових відносин, що впливають на вибір управлінських рішень при ліквідації аварій, вводиться ряд базових понять:

Ознаки – це атрибути об'єктів ПрО. Вони визначаються значеннями λ_s , які можуть змінюватися в часі. Для кожної ознаки S може бути задано множину моментів часу $v_s = \{\mu_{s1}, \mu_{s2}, \dots, \mu_{sn}\}$ його спостереження, причому $S(\mu_{s1}) = \lambda_{s1}, i \in [1, N]$, при цьому повинні бути задані моменти часу, що відповідають початку й кінцю спостереження (моніторингу) ознаки – ПОЧАТОК (S) = t_s^1 , КІНЕЦЬ(S) = t_s^2 .

Події (наприклад, вибух, викид вугілля або породи й т.п.), спостережувані в процесі ліквідації аварії (і, що впливають на зміну оперативної обстановки), крім свого імені можуть описуватися сукупністю параметрів. Для кожної події E може бути заданий момент часу $v_e = \mu_e$ його наступу.

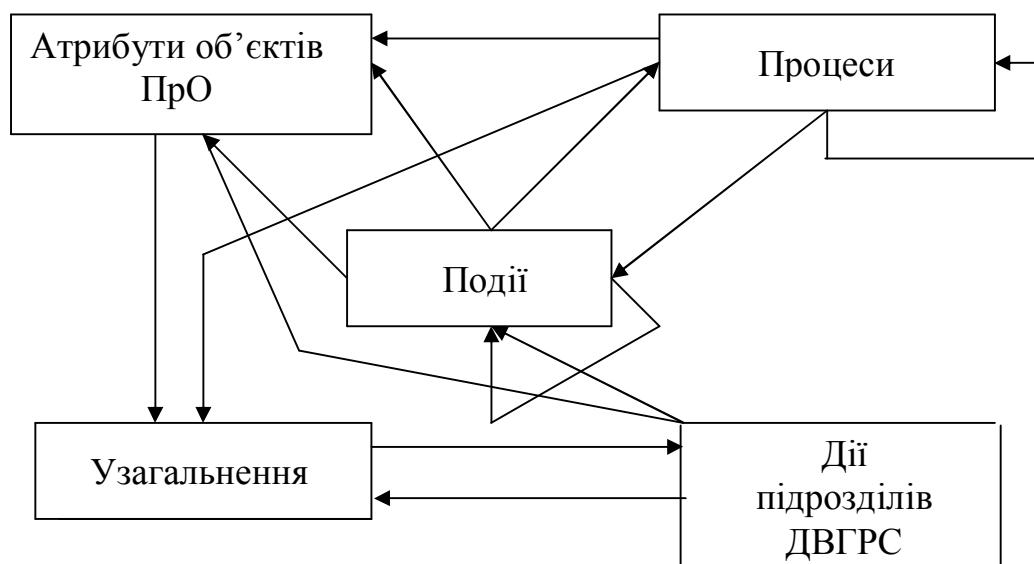


Рисунок 2.2 – Причинно-наслідкові зв'язки в логіко-математичній моделі процесу ліквідації аварії

Процеси (наприклад, горіння, виділення диму або газу, нагрівання, вибух, обвалення й т.п.), що протікають на аварії, визначають зміни ознак, що характеризують об'єкти ПрО. Загальними параметрами для всіх процесів є: тривалість і періоди розвитку. Для кожного процесу Р задається множина періодів часу $\pi_p = \{\eta_{p1}, \eta_{p2}, \dots, \eta_{pn}\}$ для його спостереження, а також моменти часу, що відповідають початку й кінцю спостереження процесу – ПОЧАТОК(Р) = t_p^1 КІНЕЦЬ(Р) = t_p^2 .

Узагальнення (напр., необхідність евакуації людей, можливість локалізації вогнища й т.п.) – поняття, що характеризують ситуацію що склалась й визначальні можливі цілі для учасників ліквідації аварії. Узагальнення фіксують певний аспект стану оперативної обстановки, що склалась в деякий період часу. Також як і для ознак, для кожного узагальнення А задається множина моментів часу $\Phi_a = \{\theta_{a1}, \theta_{a2}, \dots, \theta_{an}\}$ його спостереження, причому $A(\mu_{a1} = \lambda_{a1}, i \in [1, N]$.

Дії притягнутих до ліквідації аварії гірничорятувальних підрозділів (ДВГРС).

Всі перераховані вище характеристики зв'язуються з певними об'єктами ПрО (наприклад, об'єкт ліквідації аварії, окремі гірничі виробки або об'єкти на її території, зовнішнє середовище, засоби ліквідації аварії й ін.).

2.3.2.1 Знання про розвиток оперативної обстановки при гасінні пожеж на шахтах

Знання про розвиток оперативної обстановки представляються сукупністю наступних знань:

1. Знання про дії ДВГРС, які крім назв дій містять інтервали можливої тривалості їхнього здійснення, параметри й області їхніх можливих значень;

2. Знання про спостереження, що складаються:

I – *знань про події*, що включають назви подій, їхні параметри й області їхніх можливих значень;

II – *знань про процеси*, що містять назви процесів, інтервали можливих довжин їхнього здійснення, параметри й області їхніх можливих значень;

III – *знання про ознаки* (атрибутах об'єктів ПрО), які являють собою області їхніх можливих значень

IV – *знання про узагальнення*, які містять області їхніх можливих значень.

Знання про причинно-наслідкові зв'язки.

Знання про причинно-наслідкові зв'язки представляються у вигляді відповідних описів. Приклад опису етіології процесу див. нижче.

Етіологія процесу, що включає посилення на причину-подію, наслідок-процес, фактори що впливають; опис модальності ("необхідність" або "можливість") і опис причинної закономірності.

Примітка. Модальність "необхідність" означає, що якщо в цей момент часу має місце причина, то обов'язково має місце причинно-наслідковий зв'язок. Модальність "можливість" означає, що причина не обов'язково приводить до причинно-наслідкового відношення є диз'юнкція варіантів. Якщо причинно-наслідковий зв'язок має місце, то виконано один з варіантів, відповідно до якого й протікає причинно-наслідковий зв'язок. Варіант являє собою імплікацію, посилка якої містить умову на впливаючі фактори, і умову на причину, а висновок - умовна ймовірність початку процесу в деякий момент часу. Умова на причину є підмножина області можливих значень параметрів події. Умова на впливаючі фактори, є кон'юнкція пар, що складаються з назв впливаючих факторів, і підмножин областей їхніх можливих значень. Посилка імплікації виконана, якщо значення всіх впливаючих факторів, перерахованих в умові впливаючі фактори, входять до підобласті значень, обумовлені цією умовою.

З наведених описів видно, що структура знання для всіх причинно-наслідкових зв'язків моделі багато в чому подібна. Структура цих знань характеризується наявністю причини, наслідку, впливаючих факторів, модальністю й описом причинної закономірності. Крім того, всі знання про введені поняття можуть містити умови, виконання яких необхідно для того, щоб відповідний процес, подія або причинно-наслідковий зв'язок могли мати місце на пожежі. Якщо необхідна

умова відсутня в описі поняття, то поняття вважається тотожно істинне. Необхідна умова є кон'юнкція компонент, кожна з яких є посилання на деяку особливість оперативної обстановки й підмножину можливих значень цієї особливості. компонента умови вважається істиною, якщо спостережуване значення цієї особливості належить підобласті можливих значень цього компонента.

2.3.2.2 Сорти, використовувані при побудові онтологічної моделі причинно-наслідкових відносин

Сорт – множина об'єктів із загальними правилами маніпулювання ними.

В онтологічній моделі причинно-наслідкових відносин розглядаються сорти моделі дійсності й сорти моделі знання, а також сорти, що відповідають один одному в моделі дійсності й моделі знання.

Сорти, що відповідають один одному в моделі дійсності (базі даних) і моделі знання (базі знань) трактуються і як деяка множина імен або позначень об'єктів дійсності, і як деяка множина імен або позначень понять розглянутої ПрО.

Сорт моделі дійсності завжди є деяка підмножина відповідного йому сорту в моделі знання. Відповідні сорти мають однакові назви.

2.3.2.3 Функціональні відносини, використовувані при побудові моделі знань

Приклад відносин уведених термінів із ПНЗ "зв'язок подій" показаний на рис. 2.3.

Таблиця 2.1 – Деякі типи причинно-наслідкових зв'язків в логічній моделі процесу ліквідації аварії

Причинно-наслідкові зв'язки	Позначення	Умовна назва	Опис	Приклади варіантів ПНЗ
атрибут → значення	NS	Норма	Висновок – умовна ймовірність знаходження ознаки в певному інтервалі значень.	Нормальна температура в гірничих виробках (10 - 30) °З
подія → процес	EP	Наслідок процесу	Висновок – умовна ймовірність настання процесу в певний момент часу, визначається модальність.	Займання транспортерної стрічки → задимлення гірничих виробок продуктами згорання
подія 1 → подія 2	ІІ	Зв'язок подій	Висновок – умовна ймовірність настання 2-го події в певний момент часу, визначається модальність.	Вибух газу → обвалення кріплення, покрівлі гірничого виробку
подія → атрибут	ES	Реакція на подію	Висновок – умовна ймовірність знаходження ознаки в певний момент часу.	Займання горючих матеріалів → збільшення площі пожежі
атрибути → подія	SE	Реакція на зміну атрибутів	Висновок – умовна ймовірність настання події в певний момент часу, визначається модальність.	Утворення вибухонебезпечної концентрації речовин → вибух
процес 1 → процес 2	PP	Ускладнення	Опис періодів динаміки. Висновок – умовна ймовірність настання 2-го процесу в певний момент часу. Модальність.	Горіння у виробці 1 → Горіння у виробітку 2
процес → подія	PE	Наслідок процесу	Опис періодів динаміки. Висновок – умовна ймовірність настання події в певний момент часу. Модальність.	Горіння у виробці → проникнення продуктів горіння на верхні обрії
процес → атрибути	PS	Прояв процесу	Періоди розвитку. Висновок – умовна ймовірність знаходження ознаки в певному інтервалі.	Поширення горіння дерев'яного кріплення → підвищення температури
дії підрозділів ДВГРС → атрибути	DS	Вплив ДВГРС 1	Висновок – умовна ймовірність знаходження ознаки в певному інтервалі.	Подача вогнегасних речовин → зміна параметрів пожежі (площі, швидкості поширення, т.п.)
дії підрозділів ДВГРС → подія	DE	Вплив ДВГРС N	Висновок – умовна ймовірність настання події в певний момент часу. Модальність.	Подача піни, води → вибух

2.3.2.4 Допоміжні функції й предикати

Для оцінки умовної ймовірності варіантів причинно-наслідкових зв'язків різних типів в онтологічній моделі вводяться наступні допоміжні функції й предикати:

Функція A , обумовлена для будь-якого причинно-наслідкового відношення b як:

$$A = \frac{2}{3} \left(\frac{N_p}{N_v} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(1 - \frac{1}{N_p}\right)} \right), \quad (2.1)$$

где N_p – ЧИСЛО ЕЛЕМЕНТІВ (множина можливих варіантів(b));

N_v – ЧИСЛО ЕЛЕМЕНТІВ $j_i \in$ множина можливих варіантів(b) | $(\forall j_k, \text{ ПІДСТАВА ВИСНОВКУ } (j_k) = \text{ПІДСТАВА ВИСНОВКУ}(j_i))$, де

$j_i \in$ множина можливих варіантів(b),

$i = 1 \dots I$, де I – ЧИСЛО ЕЛЕМЕНТІВ $(\forall j_k, j_i \in$ множина можливих варіантів (b) | $\text{ПІДСТАВА ВИСНОВКУ } (j_k) \neq \text{ПІДСТАВА ВИСНОВКУ } (j_i))$, $N_p < N_v$

Функція M_t , аргументом якої є об'єкт сорту момент часу x_t : $M_t = A e^{-\frac{9(x-t_c)^2}{2t_c^2}}$, де t_c – об'єкт сорту момент часу, дорівнює тривалості інтервалу часу між причиною й наслідком, для варіанта причинно-наслідкового зв'язку j .

Умовна ймовірність для j варіанта причинно-наслідкових зв'язків різних типів має вид:

$b \in$ реакція на подію \cup норма \cup варіант дій & $j \in$ множина можливих варіантів(b) \rightarrow ЙМОВІРНІСТЬ) = A .

Якщо причинно-наслідковий зв'язок b , для якої визначений варіант j , має модальність = можливість, то умовна ймовірність для цього варіанта дорівнює M_t :

МОДАЛЬНІСТЬ (b) = можливість & $b \in$ прояв процесу \cup ускладнення \cup наслідок процесу \cup вплив відділення ДВГРС1 \cup етіологія процесу \cup зв'язок подій

∪ реакція на зміну атрибута ∪ вплив відділення ДВГРС2 & $j \in$ множина можливих варіантів (b) → ЙМОВІРНІСТЬ $I(j, x_t) = M_t$, де

x_t – об'єкт сорту момент часу, що відповідає часу з початку варіанта причинно-наслідкового зв'язку $j \in$ множина можливих варіантів (b).

Якщо причинно-наслідковий зв'язок b , для якого визначений варіант j , має модальність = необхідність, то умовна ймовірність для цього варіанта дорівнює M_t : $\text{МОДАЛЬНІСТЬ}(b) = \text{необхідність} \ \& \ b \in \text{прояв процесу} \cup \text{ускладнення} \cup \text{наслідок процесу} \cup \text{вплив відділення ДВГРС1} \cup \text{етіологія процесу} \cup \text{зв'язок події} \cup \text{реакція на зміну атрибута} \cup \text{вплив відділення ДВГРС2} \ \& \ j \in \text{множина можливих варіантів (b)} \rightarrow$

$$\text{ЙМОВІРНІСТЬ } I(j, x_t) = , \left\{ \begin{array}{l} M_t, \text{ _если } t_0 < x_t < t_c \\ M_i + (1 - A) e^{-\frac{9(x_t - t_j - t_c)^2}{2(t_c - t_n)}} , \text{ _âñëè } t_c < x_t < t_N \end{array} \right\}$$

де t_N – об'єкт сорту момент часу, що відповідає верхній границі тривалості останнього періоду динаміки варіанта j , визначеного в базі знань.

Функція двох аргументів \mathbf{R} є функцією нестрогого часткового порядку, якщо вона має наступні властивості:

$$R(x, y) \in \{-1, 0, 1\},$$

$$R(x, y) = 0 \rightarrow R(y, x) = 0,$$

$$R(x, y) = 0,$$

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

Уведемо функцію SUPREMUM (M, R) – верхню грань кінцевої множини M стосовно функції нестроого часткового порядку \rightarrow в таким чином:

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

Легко бачити, що для будь-якої кінцевої множини M і функції нестроого часткового порядку R на SUPREMUM(M, R) $\neq 0$.

Визначимо функцію двох аргументів ПРІОРИТЕТ (B 1, B 2) у такий спосіб: для причинно-наслідкових відносин B 1 й B 2 ця функція буде повертати одне із трьох значень:

-1 (якщо причинно-наслідкове відношення B 1 має пріоритет більший, ніж причинно-наслідкове відношення B 2),

0 (якщо B 1 й B 2 мають однаковий пріоритет),

1(якщо причинно-наслідкове відношення B 1 має менший пріоритет, чим B 2).

Нехай B1 і B2 – причинно-наслідкові відносини, наслідками яких є ті самі ознаки S, тобто має місце:

S \in ознака & B1 \in причинно-наслідкове відношення & B2 \in причинно-наслідкове відношення & НАСЛІДОК (B1) = S & НАСЛІДОК (B2) = S.

Тоді значення функції ПРІОРИТЕТ (B1, B2), спосіб обчислення якої показано у табл. 2.2, залежать від того, яким множинам належать B1 та B2. Легко бачити, що усередині області визначення функція ПРІОРИТЕТ (B1, B2) має властивості функції нестроого часткового порядку.

Таблиця 2.2 – Значення функції ПРІОРИТЕТ (X, Y)

X \ Y	A	B	C
A	0	1	1
B	-1	0	-1
3	-1	1	0

Позначення усередині таблиці:

A – реакція на подію: $A = \{b \in \text{реакція на подію}\}$; B – прояв процесу:

$B = \{b \in \text{прояв процесу}\}$;

C – вплив ДВГРС1: $C = \{b \in \text{вплив ДВГРС}\}$;

Нехай B1 і B2 – причинно-наслідкові відносини, наслідками яких є тієї самий процес P, тобто має місце:

$S \in \text{ознака} \ \& \ B1 \in \text{причинно-наслідкове відношення} \ \& \ B2 \in \text{причинно-наслідкове відношення} \ \& \ \text{НАСЛІДОК}(B1) = P \ \& \ \text{НАСЛІДОК}(B2) = P$.

Таблиця 2.3 – Значення функції ПРІОРИТЕТ (X, B)

Y \ X	A	B
A	0	0
B	0	0

Позначення усередині таблиці: A – етіологія процесу: $A = \{b \in \text{етіологія процесу}\}$;

B – ускладнення: $B = \{b \in \text{ускладнення}\}$.

Нехай B1 і B2 – причинно-наслідкові відносини, наслідками яких є ті саме подія E, тобто має місце: $S \in \text{ознака} \ \& \ B1 \in \text{причинно-наслідкове відношення} \ \& \ B2 \in \text{причинно-наслідкове відношення} \ \& \ \text{НАСЛІДОК}(B1) = E \ \& \ \text{НАСЛІДОК}(B2) = E$.

Таблиця 2.4 – Значення функції ПРІОРИТЕТ (X, Y)

	A	B	C	D
A	0	0	0	1
B	0	0	0	1
C	0	0	0	1
D	-1	-1	-1	0

Позначення усередині таблиці: A – зв'язок подій: $A = \{b \in \text{зв'язок подій}\}$;

У – реакція на зміну атрибутів:

$V = \{b \in \text{реакція на зміну атрибутів}\};$

С – наслідок процесу:

$C = \{b \in \text{наслідок процесу}\};$

D – впливу відділення ДВГРС2:

$D = \{b \in \text{вплив відділення ДВГРС2}\}.$

Для причинно-наслідкових зв'язків b_1 й b_2 визначимо функцію двох аргументів ПРІОРИТЕТ(b_1, b_2) так, щоб її значення дорівнювали значенням функції ПРІОРИТЕТ (V_1, V_2) для причинно-наслідкових відносин V_1 й V_2 , яким відповідають причинно-наслідкові зв'язки b_1 й b_2 відповідно. Будемо вважати, що має місце відповідність деякого причинно-наслідкового зв'язку b деякому причинно-наслідковому відношенню V , якщо варіант причинно-наслідкового зв'язку b входить до множини варіантів причинної закономірності причинно-наслідкового відношення V :

$\{V_1, V_2\}$ із причинно-наслідкове відношення & $\{b_1, b_2\} \in$ причинно-наслідковий зв'язок & ВАРІАНТ(b_1) \in ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 2(V_1) & ВАРІАНТ(b_2) \in ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 2(V_2) \rightarrow ПРІОРИТЕТИ(b_1, b_2) = ПРІОРИТЕТ (V_1, V_2).

Легко побачити, що усередині області визначення функція ПРІОРИТЕТ(b_1, b_2), як і функція ПРІОРИТЕТ(V_1, V_2), має властивості функції нестрогого часткового порядку.

Визначимо функцію двох аргументів ПРІОРИТЕТ1(b_1, b_2) таким чином: для причинно-наслідкових зв'язків b_1 й b_2 ця функція буде повертати одне із трьох значень:

–1 (якщо причинно-наслідковий зв'язок b_1 має пріоритет більший, ніж причинно-наслідковий зв'язок b_2), ПРО (якщо b_1 й b_2 мають однаковий пріоритет),

1 (якщо причинно-наслідковий зв'язок b_1 має менший пріоритет, чим b_2).

Нехай b_1 і b_2 – причинно-наслідкові зв'язки, що відповідають причинно-наслідковим відносинам b_1 і b_2 , що мають один і той наслідок. Тоді функція

ПРІОРИТЕТ 1(b1,b2) визначається таким чином. Задамо предикат "ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА" формулою:

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА(b1,b2) \leftrightarrow {b1,b2} \in причинно-наслідковий зв'язок & ВАРІАНТ(b1) \in ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 2(V1) & ВАРІАНТ(b2) \in ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 2(V2) & НАСЛІДОК (V1) = НАСЛІДОК (V2) & ПРІОРИТЕТ(b1,b2) = 0.

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 1(b1,b2) \leftrightarrow {b1,b2} причинно-наслідковий зв'язок & ВАРІАНТ(V1) \in ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 2(V1) & ВАРІАНТ(V2) \in ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 2(V2) & НАСЛІДОК (V1) = НАСЛІДОК(V2) & ПРІОРИТЕТ(b1,b2) \neq 0.

Для причинно-наслідкових зв'язків, що відповідають причинно-наслідковим відносинам, які мають такий самий наслідок, пріоритет визначається з урахуванням обчисленої умовної ймовірності, а також типу причинно-наслідкових відносин:

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 1(b1,b2) & {b1,b2} \in прояв процесу \cup ускладнення \cup наслідок процесу \cup вплив ДВГРС1 \cup етіологія процесу \cup наслідок події \cup реакція на зміну атрибута \cup вплив ДВГРС & {m1,m2} \in момент часу & ІМОВІРНІСТЬ1(m1,b1) > ІМОВІРНІСТЬ1(m2,b2) \rightarrow ПРІОРИТЕТ 1(b1, b2) = -1 & ПРІОРИТЕТ 1(b2, b1) = 1;

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА (b1, b2) & {b1,b2} \in реакція на подію \cup норма \cup варіант дій & ІМОВІРНІСТЬ (b1) > ІМОВІРНІСТЬ(b2) \rightarrow ПРІОРИТЕТ1 (b1,b2) = -1 & ПРІОРИТЕТ1 (b2,b1) = 1;

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 1 (b1,b2) \rightarrow ПРІОРИТЕТ 1(b1,b2) = ПРІОРИТЕТ(b1,b2);

Легко побачити, що функція ПРІОРИТЕТ 1(b1,b2) має властивості функції нестроного часткового порядку.

Введемо предикат "ВИКОНАНО", аргументом якого є об'єкт сорту множина компонентів (необхідної умови або умови на впливаючі фактори) : ВИКОНАНИЙ (x) \leftrightarrow $\&_{y \in x}$ (АТРИБУТ (y) \in ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНЬ (y)).

2.3.3 Онтологічні угоди моделі

2.3.3.1. Обмеження цілісності невідомих і параметрів

У даному розділі описуються обмеження цілісності значень невідомих і параметрів моделі, а також співвідношення невідомих з параметрами. При цьому буде застосовуватися "наскрізна" нумерація співвідношень.

Обмеження цілісності значень невідомі моделі.

Різним ознакам відповідають різні причинно-наслідкові зв'язки норми:

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

Різним ознакам, подіям, об'єктам ПрО або різним моментам часу, у які відбулася та сама подія, відповідають різні причинно-наслідкові зв'язки реакції на подію:

$\{S1, S2\} \in \text{ознака} \ \& \ \{E1, E2\} \in \text{подія} \ \& \ \{\text{ПРО1}, \text{ПРО2}, \text{ПРО3}, \text{ПРО4}\} \in \text{об'єкт ПрО} \ \& \ \{t1, t2\} \in \text{момент часу} \ \& \ (S1 \neq S2 \vee E1 \neq E2 \vee \text{ПРО1} \neq \text{ПРО3} \vee \text{ПРО2} \neq \text{ПРО4} \vee t1 \neq t2) \rightarrow \text{РНС}(E1, S1, \text{ПРО1}, \text{ПРО2}, t1) \neq \text{РНС}(E2, S2, \text{ПРО3}, \text{ПРО4}, t2).$

Різним подіям, процесам, об'єктам ПрО або різним моменти часу, у які відбувся той самий процес, відповідають різні причинно-наслідкові зв'язки етіології процесу:

$\{E1, E2\} \in \text{подія} \ \& \ \{P1, P2\} \in \text{процес} \ \& \ \{\text{ПРО1}, \text{ПРО2}, \text{ПРО3}, \text{ПРО4}\} \in \text{об'єкт Про} \ \& \ \{t1, t2\} \in \text{момент часу} \ \& \ (P1 \neq P2 \vee E1 \neq E2 \vee \text{ПРО1} \neq \text{ПРО3} \vee \text{ПРО2} \neq \text{ПРО4} \vee t1 \neq t2) \rightarrow \text{ЕТИОЛОГІЯ ПРОЦЕСУ}(E2, P1, \text{ПРО1}, \text{ПРО2}, t1) \neq \text{ЕТИОЛОГІЯ ПРОЦЕСУ}(E2, P2, \text{ПРО3}, \text{ПРО4}, t2).$

Різним процесам, різним періодам динаміки процесу-причини або ж різних моментів часу відповідають різні причинно-наслідкові зв'язки ускладнень:

$\{P1, P2, P3, P4\} \in \text{процес} \ \& \ \{\text{ПРО1}, \text{ПРО2}, \text{ПРО3}, \text{ПРО4}\} \in \text{об'єкт Про} \ \& \ i1 \in [1, \text{LENGTH}(\text{ПЕРІОДИ РОЗВИТКУ}(P1))] \ \& \ i2 \in [1, \text{LENGTH}(\text{ПЕРІОДИ РОЗВИТКУ}(P3))] \ \& \ (P1 \neq P3 \vee P2 \neq P4 \vee i1 \neq i2) \rightarrow \text{УСКЛАДНЕННЯ}(P1, P2, \text{ПРО1}, \text{ПРО2}, i1) \neq \text{УСКЛАДНЕННЯ}(P3, P4, \text{ПРО3}, \text{ПРО4}, i2).$

Момент початку спостереження деякої ознаки повинен бути раніше моменту закінчення його спостереження:

$S \in$ ознака – ПОЧАТОК(S) < КІНЕЦЬ(S).

Обмеження цілісності значень параметрів моделі.

Для норми, реакції на подію, прояву процесу й впливу ПП 1, область значень наслідку повинна бути підобластю області можливих значень ознаки, що є наслідком для цих причинно-наслідкових зв'язків:

$S \in$ ознака & $HQRMA(S) = b$ & $j \in$ ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 2(b)
 \rightarrow ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНЬ НАСЛІДКУ (j) \subset ОБЛАСТЬ МОЖЛИВИХ ЗНАЧЕНЬ(S).

$E \in$ подія & $S \in$ ознака & $b \in$ РНС(S, E, sor) & $j \in$ ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ(b) – ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНЬ НАСЛІДКУ(j) \subset ОБЛАСТЬ МОЖЛИВИХ ЗНАЧЕНЬ(S).

$P \in$ процес & $S \in$ ознака & ПЕРІОДИ ДИНАМІКИ(P) = P1 & $b \in$ ПРОЯВ ПРОЦЕСУ (D, S, sor) & $k \in [1, LENGTH(P1)]$ & $j \in$ ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 1(k, b) – ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНЬ НАСЛІДКУ(j) \subseteq ОБЛАСТЬ МОЖЛИВИХ ЗНАЧЕНЬ(НАСЛІДОК(b));

$D \in$ дії ДВГРС & $S \in$ ознака & ПЕРІОДИ ДИНАМІКИ(D) = P1 & $b \in$ ВПЛИВ ДВГРС (D, S, sor) & $k \in [1, LENGTH(P1)]$ & $j \in$ ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 1(k, b) \rightarrow ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНЬ НАСЛІДКУ(j) \rightarrow ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНЬ НАСЛІДКУ(j) \subset ОБЛАСТЬ МОЖЛИВИХ ЗНАЧЕНЬ(S);

Для шкірного варіанта причинної закономірності будь-якого причинно-наслідкового відношення атрибут компоненти умови на фактори, що впливають, повинен належати множині особливостей, що є для розглянутого причинно-наслідкового відношення факторами, що впливають:

$b \in$ причинно-наслідкове відношення & ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ(b) = F & $\in j$ ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 2(b) & $\in f$ УМОВА НА ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ(j \rightarrow) АТРИБУТ(f \in) F;

$M \in$ процес \cup дія & ПЕРІОДИ ДИНАМІКИ (M) = P & до $\in [1, LENGTH(P)]$ & b у прояв процесу \cup вплив ДВГРС 1 & ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ (b) = F & $\in j$ ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 1(k, b) & $\in f$ УМОВА НА ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ(j) АТРИБУТ(f).

Область значень компоненти необхідної умови або умови на впливаючі фактори, повинна бути підобластю можливих значень тієї особливості, що визначає дану умову:

$y = \text{АТРИБУТ}(x) \rightarrow \text{ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНЬ}(x) \in \text{ОБЛАСТЬ МОЖЛИВИХ ЗНАЧЕНЬ}(y)$.

Атрибут роль об'єкта дія ДВГРС, що є причиною впливу підрозділу ДВГРС1 або впливу підрозділу ДВГРС2, маючий значення процес. Якщо об'єкт дія ДВГРС є наслідком причинно-наслідкового зв'язку варіанта дій, атрибут роль приймає значення цілі.

$D \in \text{дія ДВГРС} \ \& \ b \in \text{вплив ДВГРС 1} \cup \text{вплив ДВГРС 2} \ \& \ \text{НАСЛІДОК}(b) = P \rightarrow \text{АТРИБУТ}(P) = \text{процес};$

$D \in \text{дія ДВГРС} \ \& \ b \in \text{варіант дій} \ \& \ \text{НАСЛІДОК}(b) = P \rightarrow \text{РОЛЬ}(D) = \text{ціль};$

2.3.3.2 Виконання необхідних умов

Якщо в моделі дійсності є деякий об'єкт і цей об'єкт відповідає деякому поняттю в моделі знання, і знання про це поняття містить необхідну умову, то ця необхідна умова для цього об'єкта повинна бути виконана.

Якщо в деякий момент часу ознака має значення, то для цієї ознаки повинна бути виконана необхідна умова:

$S \in \text{ознака} \ \& \ t \in \text{момент часу} \ \& \ S(t) = I \ \& \ n \in \text{НЕОБХІДНА УМОВА}(S) - \text{ВИКОНАНЕ}(n)$.

Якщо в деякий момент часу має місце подія, то для цієї події повинна бути виконана необхідна умова:

$E \in \text{подія} \ \& \ n \in \text{НЕОБХІДНА УМОВА}(E) \rightarrow \text{ВИКОНАНЕ}(n)$.

Якщо в деякий момент часу має місце процес, то для цього процесу повинна бути виконана необхідна умова:

$P \in \text{процес} \ \& \ n \in \text{НЕОБХІДНА УМОВА}(P) \rightarrow \text{ВИКОНАНА}(n)$.

Якщо на деякому інтервалі часу значення ознаки визначаються *реакцією на подію*, то для цієї реакції на подію повинна бути виконана необхідна умова:

$E \in \text{подія} \ \& \ S \in \text{ознака} \ \& \ \text{ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК}(i, S) =$
 $\text{PHC}(E, S, O_1, O_2, \tau) \ \& \ b \in \text{PHC}(E, S, \text{sor}) \ \& \ \text{sor} = \text{ВІДНОШЕННЯ}$
 $\text{ОБ'ЄКТІВ}(O_1, O_2) \ \& \ \text{НАСЛІДОК}(b) = S \ \& \ n \in \text{НЕОБХІДНА УМОВА}(b)$
 $\text{ВИКОНАНЕ}(n).$

Якщо в деякий момент часу має місце процес, і причиною даного процесу є *етиологія процесу*, то для цієї етіології процесу повинна бути виконана необхідна умова:

$E \in \text{подія} \ \& \ P \in \text{процес} \ \& \ \text{ПРИЧИНА ПРОЦЕСУ}(P) = \text{ЕТИОЛОГИЯ ПРОЦЕСУ}$
 $(E, P, O_1, O_2, \tau) \ \& \ b \in \text{ЕТИОЛОГИЯ ПРОЦЕСУ}(E, P, \text{sor}) \ \& \ \text{sor} = \text{ОТНОШЕНИЕ}$
 $\text{ОБЪЕКТОВ}(O_1, O_2) \ \& \ \text{НАСЛІДОК}(b) = P \ \& \ n \in \text{НЕОБХІДНА УМОВА}(b) -$
 $\text{ВИКОНАНЕ}(n).$

Інші співвідношення, що визначають виконання необхідних умов для причинно-наслідкових відносин, по своїй структурі схожі з вище зазначеними.

2.3.3.3 Опис причин процесу

Якщо модель знання має опис етіології процесу й для деякого варіанта причинної закономірності цієї етіології процесу виконана умова на причину й умову на впливаючі фактори, то цей варіант причинної закономірності розглянутої етіології входить в "множину можливих варіантів". Причинно-наслідковий зв'язок цієї етіології входить в множину можливих причин процесу, а за початок цього варіанта причинної закономірності етіології процесу приймається момент часу, протягом якого відбулася подія. Вона є причиною цієї етіології:

$B \in \text{ЕТИОЛОГИЯ ПРОЦЕСУ}(E, P, \text{sor}) \ \& \ \text{МОМЕНТ ЧАСУ}(E) = t \ \& \ j \in$
 $\text{ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ} \ 2(B) \ \& \ f1 \in \text{УМОВА НА ФАКТОРИ, ЩО}$
 $\text{ВПЛИВАЮТЬ}(j) \ \& \ f \in \text{УМОВА НА ПРИЧИНУ}(j) \ \& \ \text{ВИКОНАНЕ}(f1) \ \&$
 $\text{ВИКОНАНЕ}(f2) \ \& \ \text{sor} = \text{ВІДНОШЕННЯ ОБ'ЄКТІВ}(O_1, O_2) \ \& \ \text{ЕТИОЛОГИЯ}$
 $\text{ПРОЦЕСУ} \ \{E, P, O_1, O_2, t\} \Rightarrow b \text{ множина можливих варіантів}(b) \ \& \ b \in \text{множина}$
 $\text{можливих причин процесу}(P) \ \& \ \text{ПОЧАТОК}(j) = t.$

Якщо модель знання має опис ускладнення й при цьому для деякого варіанта причинної закономірності цього ускладнення виконана умова на причину й умову на впливаючі фактори, то цей варіант причинної закономірності входить в "множину можливих варіантів". А причинно-наслідковий зв'язок цього ускладнення входить в "множину можливих причин процесу" і за початок варіанта причинної закономірності ускладнення приймається момент часу початку динаміки процесу, що викликав це ускладнення.

$V \in \text{УСКЛАДНЕННЯ}(P_1, P_2, \text{sor}) \ \& \ j \in \text{ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ } I(i, V)$
 $\& f1 \in \text{УМОВА НА ВПЛИВАЮЧИ ФАКТОРИ } (j) \ \& \ f \in 2 \text{ УМОВА НА ПРИЧИНУ}(j)$
 $\& \text{ВИКОНАНЕ}(f1) \ \& \ \text{ВИКОНАНЕ}(f2) \ \& \ \text{sor} = \text{ВІДНОШЕННЯ}(O_1, O_2 \text{ ОБ'ЄКТІВ}) \ \&$
 $\text{УСКЛАДНЕННЯ}(P_1, P_2, O_1, O_2) \rightarrow b \in j \text{ множина можливих варіантів}(b) \ \& \in b$
 $\text{множина можливих причин процесу}(P_2) \ \& \ \text{ПОЧАТОК}(j) = \text{ПОЧАТОК}(j).$

Для елементів "множина можливих причин процесу" значення функції ПРИЧИНА ПРОЦЕСУ має максимальний пріоритет: $P \in \text{процес} \rightarrow \text{ПРИЧИНА ПРОЦЕСУ}(P) \in \text{SUPREMUM}$ (множина можливих причин процесу (P), ПРІОРИТЕТ 1).

Якщо деякий причинно-наслідковий зв'язок є причиною процесу, то варіант цього причинно-наслідкового зв'язку належить множині можливих варіантів розглянутого зв'язку:

$P \in \text{процес} \ \& \ b = \text{ПРИЧИНА ПРОЦЕСУ}(P) \rightarrow \text{ВАРІАНТ}(b) \in \text{множина}$
 $\text{можливих варіантів}(b) \ \& \ \text{ПОЧАТОК}(b) = \text{ПОЧАТОК}(\text{ВАРІАНТ}(b)).$

Якщо деякий причинно-наслідковий зв'язок є причиною процесу, що входить в опис оперативної обстановки, то для варіанта цього причинно-наслідкового зв'язку він повинен бути виконаний.

$P \in \text{процес} \ \& \ b = \text{ПРИЧИНА ПРОЦЕСУ}(P) \ \& \ \text{ОПИС ДИНАМІКИ}$
 $(\text{ВАРІАНТ}(b)) = b \rightarrow (\text{ПОЧАТОК}(P) - \text{ПОЧАТОК}(b)) \in [\text{LOWER BOUND}(y),$
 $\text{UPPER BOUND}(y)].$

2.3.3.4 Опис причин події

Якщо модель знання містить опис зв'язку подій і для деякого варіанта причинної закономірності цього зв'язку подій виконана умова на причину й умова на впливаючі фактори, то цей варіант причинної закономірності розглянутого зв'язку входить в "множину можливих варіантів", причинно-наслідковий зв'язок цієї етіології входить до множини можливих причин події". А за початок цього варіанта причинної закономірності зв'язку подій приймається момент часу, у який відбулася подія, що є причиною цього зв'язку.

$$B \in \text{ЗВ'ЯЗОК ПОДІЙ}(E_1, E_2 \text{ sor}) \ \& \ \text{МОМЕНТ ЧАСУ}(E_1) = t \ \& \ j \in \text{ПРИЧИННА} \\ \text{ЗАКОНОМІРНІСТЬ } 2(B) \ \& \ f1 \in \text{УМОВА НА ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ}(j) \ \& \\ f \in 2 \text{ УМОВА НА ПРИЧИНУ}(j) \ \& \ \text{ВИКОНАНЕ}(f1) \ \& \ \text{ВИКОНАНЕ}(f2) \ \& \ \text{sor} = \\ \text{ЗВ'ЯЗОК ОБ'ЄКТІВ}(O_1, O_2) \ \& \ \text{ЗВ'ЯЗОК ПОДІЙ}(O_1, O_2, E_1, E_2, t) = \rightarrow b \ j \ s \ \text{множина} \\ \text{можливих варіантів}(b) \ \& \ \in b \ \text{множина можливих причин події}(E_2) \ \& \ \text{ПОЧАТОК}(j) \\ = t.$$

Інші угоди, що встановлюють причину подій, визначаються аналогічно.

2.3.3.5 Властивості інтервалів розбивки, відповідаючих періодам динаміки процесу

Якщо деякий процес входить в опис оперативної обстановки, то в моделі дійсності (базі даних) із цим процесом зв'язана така розбивка осі часу таке, що кількість інтервалів у цій розбивці дорівнює кількості періодів динаміки даного процесу. Початок першого періоду процесу збігається з початком процесу, а тривалість кожного інтервалу розбивки перебуває між нижньою й верхньою границями тривалості цього періоду, позначеними в базі знань (рис. 2.4):

$$P \in \text{процес} \ \& \ \text{ПЕРІОДИ ДИНАМІКИ}(P) = P1 \ \& \ \text{LENGTH}(P1) = W \ \& \ \sigma = \\ \text{РОЗБИВКА } 1(P) \ \rightarrow \ \text{LOWER BOUND}(\sigma, 1) = \text{ПОЧАТОК}(P) \ \& \\ \text{INTERVALSNUMBER}(\sigma) = W \ \& \ ((\text{UPPER BOUND}(\sigma, k) - \text{LOWERBOUND}(\sigma, k)) \subseteq \\ [\text{LOWER BOUND}(\text{ELEMENT}(P1, k)), \text{UPPER BOUND}(\text{ELEMENT}(P1, k))]).$$

2.3.3.6 Властивості розбивки осі часу, пов'язаного з ознакою

У цьому розділі приводяться умови, що накладаються на границі інтервалів розбивки осі часу, пов'язаного з ознакою.

Причинно-наслідкові зв'язки, що визначають значення деякої ознаки на двох сусідніх інтервалах розбивки осі часу, пов'язаного із цією ознакою, різні:

$S \in \text{ознака} \ \& \ i \in [2, \text{INTERVALS NUMBER (РОЗБИВКА 1(S))}] \ \& \ \text{ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК (I, S) = b2} \ \& \ \text{ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК (i-1, S) = b1} \ \rightarrow b2 \neq b1.$

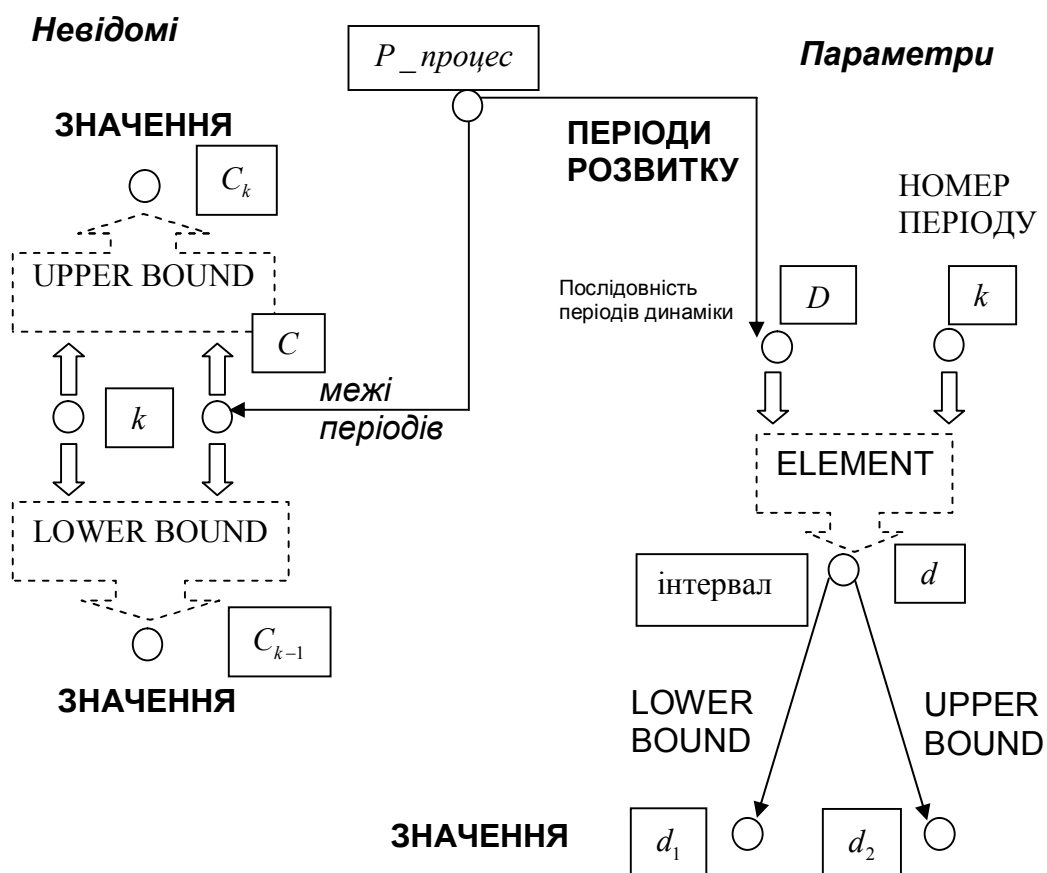


Рисунок 2.3 – Схема невідомих і параметрів, пов'язаних з періодами розвитку процесу

Якщо для i -го та $i-1$ інтервалів розбивки s осі часу t , пов'язаного з деякою ознакою, жодна із причинно-наслідкових зв'язків $b1$ й $b2$ не є нормою, то нижня границя i -го інтервалу є або кінцем останнього періоду динаміки причинно-

наслідкового зв'язку (i-1)-го інтервалу (b1), або початком причинно-наслідкового зв'язку i-го інтервалу (b2). (рис. 2.5)

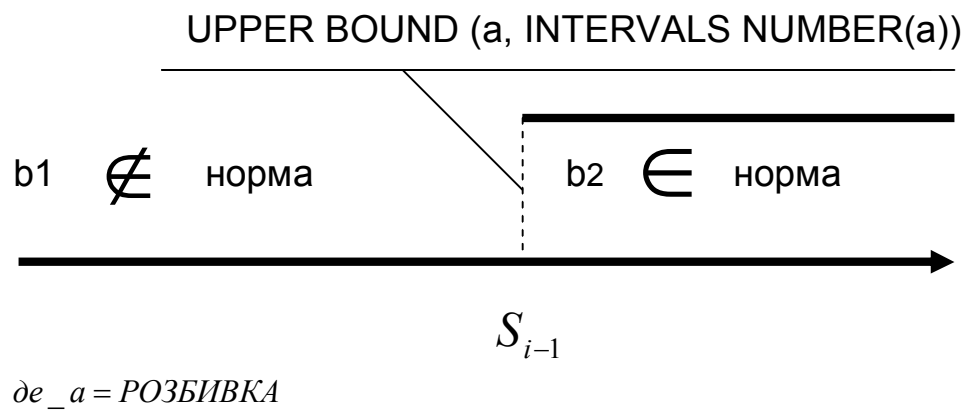


Рисунок 2.4 – Визначення границь розбивки для випадку, пов'язаного з ознакою, коли жодна із причинних зв'язків не є нормою

$S \in$ ознака & $\sigma =$ РОЗБИВКА 1(S) & $i \in [2, \text{INTERVALS NUMBER}(\sigma)]$ & ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК (j-1, S) = b1 & b1 \in норма & a = РОЗБИВКА 1(b1) & ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК (i, S) = b2 & b2 \notin норма \rightarrow LOWER BOUND(σ , i) = UPPER BOUND(a, INTERVALS NUMBER(a)) \vee LOWER BOUND(σ , i) = ПОЧАТОК {b2}.

Якщо причинно-наслідковий зв'язок на (i - 1)-ому інтервалі розбивки s осі часу t, пов'язаного з деякою ознакою, є нормальною реакцією, то нижня границя i-го інтервалу (S_{i-1}) є початком причинно-наслідкового зв'язку (b) для цього інтервалу (рис. 2.6):

$S \in$ ознака & $\sigma =$ РОЗБИВКА 1(S) & $i \in [2, \text{INTERVALS NUMBER}(a)]$ & ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК(i-1, S) \in норма \rightarrow LOWER BOUND(σ , i) = ПОЧАТОК (ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК(i, S)).

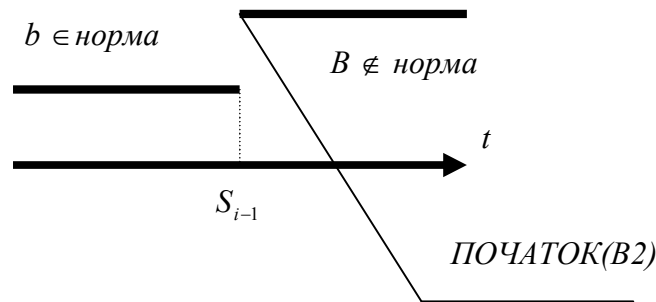


Рисунок 2.5 – Визначення границь розбивки, для випадку пов'язаного з ознакою, коли один із причинних зв'язків є нормою

Якщо причинно-наслідковий зв'язок b на i -му інтервалі розбивки з осі часу t , пов'язаного з деякою ознакою, є нормою, то нижня границя i -го інтервалу (S_{i-1}) є кінцем останнього інтервалу розбивки a , пов'язаного з періодами динаміки причинно-наслідкового зв'язку для $(i-1)$ -ого інтервалу (рис. 2.7):

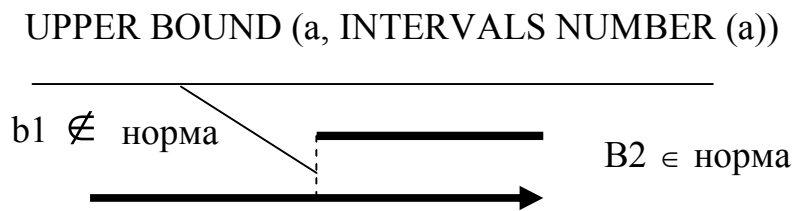


Рисунок 2.6 – Визначення границь розбивки, для випадку пов'язаного з ознакою, коли один із причинних зв'язків є нормою

$S \in$ ознаки $\sigma = \text{РОЗБИВКА } 1(S) \ \& \ i \in [2, \text{INTERVALS NUMBER}(\sigma, 1)] \ \& \ b = \text{ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК}(i-1, S) \ \& \ a = \text{РОЗБИВКА } 1(b) \ \& \ \text{ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК}(i, S) \in \text{норма} \rightarrow \text{LOWER BOUND}(\sigma, i) = \text{UPPER BOUND}(a, \text{INTERVALS NUMBER}(a))$.

Нижня границя першого інтервалу й верхня границя останнього інтервалу шкали часу повинні збігатися з початковим і кінцевими моментами спостереження.

$S \in$ ознака $\ \& \ \sigma = \text{РОЗБИВКА } f(S) - \text{LOWER BOUND}(\sigma, 1) = \text{ПОЧАТОК}$
 $\text{UPPER BOUND}(\sigma, \text{INTERVALS NUMBER}(\sigma)) = \text{КІНЕЦЬ}(S)$.

2.3.3.7 Визначення причинно-наслідкових зв'язків, що діють на інтервалі розбивки осі часу, пов'язаного з ознакою

У цьому розділі приводяться співвідношення, що встановлюють, які із причинно-наслідкових зв'язків, діючи на деякому i -му інтервалі розбивки осі часу, пов'язаного з ознакою S , визначають значення цієї ознаки.

Визначимо "множина можливих причинних зв'язків" для i -го інтервалу розбивки осі часу, пов'язаного з розглянутою ознакою S у таким чином.

Якщо на i -м інтервалі розбивки осі часу, пов'язаного з розглянутою ознакою, хоча б для одного варіанта причинно-наслідкового відношення норми виконана умова на причину й на впливаючі фактори, то причинно-наслідковий зв'язок норма входить в "множину можливих причинних зв'язків". Цей варіант входить в "множину можливих варіантів" розглянутого причинно-наслідкового відношення:

НОРМА(S) = B & Q = INTERVALS NUMBER (РОЗБИВКА 1(S)) & $i \in [1$ INTERVALS NUMBER (Q)] & $j \in$ ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ 2(B) & ВИКОНАНЕ (УМОВА НА ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ (j))) & ВИКОНАНА (УМОВА НА ПРИЧИНУ (j)) & $b =$ НОРМА(S) $\in j$ множина можливих варіантів (b) & $\in b$ множина можливих причинних зв'язків (S, i).

Якщо на i -м інтервалі розбивки осі часу, пов'язаного з розглянутою ознакою, для деякого варіанта прояву процесу (впливу підрозділів ДВГРС) виконані умови на причину й впливаючі фактори, то цей варіант прояву процесу входить в "множину можливих варіантів" розглянутого причинно-наслідкового зв'язку, а причинно-наслідковий зв'язок входить в "множину можливих причинних зв'язків" для i -о інтервалу розбивки осі часу, пов'язаного з розглянутою ознакою, що є наслідком для цього причинно-наслідкового зв'язку. Причому цьому варіанту причинної закономірності прояву процесу (впливу підрозділів ДВГРС) відповідають такі періоди динаміки, тривалість яких перебуває в межах між нижньою й верхньою границями тривалості періодів динаміки цього варіанта. За початок варіанта, розглянутого причинно-наслідкового відношення, приймається момент початку дії

причини-процесу (дії), що також є нижньою границею першого інтервалу розбивки відповідним періодам динаміки:

В - ПРОЯВ ПРОЦЕСУ, S, sor) & $\sigma = \text{РОЗБИВКА1}(S)$ & до = [1, INTERVALS NUMBER(σ)] & j ∈ ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ2(B) & ВИКОНАНЕ (УМОВА НА ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ (j^U) УМОВА НА ПРИЧИНУ(j)) & sor = ВІДНОШЕННЯ ОБ'ЄКТІВ (O₁, O₂) & ОПИС ДИНАМІКИ(j) = D & b = ПРОЯВ ПРОЦЕСУ(P, S, O₁, O₂, i) & $\psi = \text{РОЗБИВКА 1}(j)$ & LOWER BOUND(σ , k) ≥ LOWER BOUND(ψ , j) → INTERVALS NUMBER(ψ) = V & v ∈ [1, v] ((UPPER BOUND(ψ , v) - LOWER BOUND(ψ , v)) ∈ [LOWER BOUND(ДЛИТЕЛЬНОСТЬ(ELEMENT(D, v))), UPPER BOUND(ДЛИТЕЛЬНОСТЬ(ELEMENT(D, v)))] & j ∈ множина можливих варіантів(b) & b ∈ множина можливих причинних зв'язків(S, k) & ПОЧАТОК (j) = LOWER BOUND(ψ , i) У ∈ ВПЛИВ ДВГРС1 (D, S, sor) & $\sigma = \text{РОЗБИВКА 1}(S)$ & k ∈ [1, INTERVALS NUMBER(CT)] & j ∈ ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ2(B) & ВИКОНАНЕ(УМОВА НА ЩО ВПЛИВАЮТЬ ФАКТОРИ (j)) ∪ УМОВА НА ПРИЧИНУ(j) & sor = ОТНОШЕНИЕ ОБЪЕКТОВ(O₁, O₂) & ОПИС ДИНАМІКИ(j) = D & b = ВПЛИВ ДВГРС1, S, O₁, O₂, i) & $\psi = \text{РОЗБИВКА 1}(j)$ & LOWER BOUND(σ , k) > LOWER BOUND(ψ , i) → INTERVALS NUMBER(ψ , v) = V & v ∈ [1, v] ((UPPER BOUND(ψ , v) ∈ LOWER BOUND(ψ , v)) ∈ [LOWER BOUND(ДЛИТЕЛЬНОСТЬ(ELEMENT(D, v))), UPPER BOUND(ДЛИТЕЛЬНОСТЬ(ELEMENT(D, v)))] & j ∈ множина можливих варіантів(b) & b ∈ множина можливих причинних зв'язків (S, k) & ПОЧАТОК (j) = LOWER BOUND(ψ , i) В ∈ РНС(E, S, sor) & НАСЛІДОК (B) = S & $\sigma = \text{РОЗБИВКА 1}(S)$ & i ∈ [1, INTERVALS NUMBER(σ)] & b = РНС (E, S, O₁, O₂, t) & t ≤ LOWER BOUND(σ , i) & j ∈ ПРИЧИННА ЗАКОНОМІРНІСТЬ2(B) & ВИКОНАНЕ (УМОВА НА ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ(j)) і УМОВА НА ПРИЧИНУ(j)) & sor = ОТНОШЕНИ ОБ'ЄКТІВ(O₁, O₂) → j ∈ множина можливих варіантів(b) & b ∈ множина можливих причинних зв'язків(S, i) & ПОЧАТОК (j) = t.

Для елементів "множина можливих причинних зв'язків" на i -том інтервалі розбивки осі часу, пов'язаного з розглянутою ознакою, значення функції ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК має максимальний пріоритет:

$S \in$ ознака & ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК (i, S) = b & ВАРИАНТ(b) = $j \rightarrow b \in$ SUPREMUM (Множина можливих причинних зв'язків (S, i), ПРІОРИТЕТ) & $j \in$ множина можливих варіантів (b);

ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК(j, S) = b & $b \in$ норма & ВАРИАНТ(b) = $j \rightarrow$ ПОЧАТОК(b) = ПОЧАТОК(j);

ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК(j, S) = b & $b \in$ реакція на подію & ВАРИАНТ(b) = $j -$ ПОЧАТОК (b) = ПОЧАТОК(j);

ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК(j, S) = b & $b \in$ ПРОЯВ ПРОЦЕССА(P, S, O_1, O_2, i) & ВАРИАНТ(b) = $j \rightarrow$ ПОЧАТОК (b) = ПОЧАТОК(j) & РОЗБИВКА 1(b) = РОЗБИВКА 1(j);

ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК(1, S) = b & $b \in$ ВПЛИВ ДВГРС1 (D, S, O_1, O_2, i) & ВАРИАНТ(b) = $j \rightarrow$ ПОЧАТОК(b) = ПОЧАТОК (j) & РОЗБИВКА (1 b) = РОЗБИВКА 1(j).

На i -му інтервалі розбивки, пов'язаним з розглянутою ознакою, значення функції ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК () повинно задовольняти умові на наслідок.

Значення ознаки, що є наслідком деякого варіанта причинно-наслідкового зв'язку норми, повинно входити в область значень наслідку цього варіанта норми (причому зв'язок причинно-наслідкового зв'язку й причинно-наслідкового відношення здійснюється саме по цьому варіанту):

$b \in$ норма & $b =$ ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК(S, i) & РОЗБИВКА 1(S) = σ & $S(m) = L$ & $m \in$ [LOWER BOUND(σ, i), UPPER BOUND(σ, i)] & ВАРИАНТ(b) = $j \rightarrow L \in$ ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНЬ НАСЛІДКУ(j).

Значення ознаки, що є наслідком деякого варіанта розглянутого причинно-наслідкового зв'язку, крім норми, повинно входити в область значень наслідку цього варіанта в будь-який момент часу з його (варіанта причинно-наслідкового зв'язку) періодів динаміки:

$b = \text{ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК}(S, i) \ \& \ S(m) = L \ \& \ \text{РОЗБИВКА } 1(S) = \sigma \ \& \ m \in$
 $[\text{LOWER BOUND}(\sigma, i), \text{UPPER BOUND}(\sigma, i)] \ \& \ b = \text{PHC}(E, S, O_1, O_2, t) \ \&$
 $\text{ВАРІАНТ}(b) = j \ \& \ \psi = \text{РОЗБИВКА } 1(b) \ \& \ \text{ОПИС ДИНАМІКИ}(j) = D \ \& \ m \in [\text{LOWER}$
 $\text{BOUND}(\psi, 1), \text{UPPER BOUND}(\psi, 1)] \rightarrow L \in \text{ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНЬ}$
 $\text{НАСЛІДКУ}(D);$

$b = \text{ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК}(S, i) \ \& \ b = \text{ПРОЯВ ПРОЦЕСУ}(P, S, \text{ПРО}, \text{ПРО}, k) \ \&$
 $S(k) = L \ \& \ \text{РОЗБИВКА } 1(S) = \sigma \ \& \ k \in [\text{LOWER BOUND}(\sigma, i), \text{UPPER BOUND}(\sigma, i)]$
 $\ \& \ \text{ВАРІАНТ}(b) = j \ \& \ \psi = \text{РОЗБИВКА } 1(b) \ \& \ \text{ОПИС ДИНАМІКИ}(j) = D \ \& \ v \in [1,$
 $\text{LENGTH}(D)] \ \& \ m \in [\text{LOWER BOUND}(\psi, v), \text{UPPER BOUND}(\psi, v)] \rightarrow L \in$
 $\text{ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНЬ СЛЕДСТВИЯ}(\text{ELEMENT}(D, v));$

$b = \text{ПРИЧИННИЙ ЗВ'ЯЗОК}(S, i) \ \& \ S(k) = L \ \& \ \text{РОЗБИВКА } 1(S) = \sigma \ \& \ b =$
 $\text{ВПЛИВ ДВГРС1}(D, S, \text{ПРО}, \text{ПРО}, k) \ \& \ k \in [\text{LOWER BOUND}(\sigma, i), \text{UPPER}$
 $\text{BOUND}(\sigma, i)] \ \& \ \text{ВАРІАНТ}(b) = j \ \& \ \psi = \text{РОЗБИВКА } 1(b) \ \& \ \text{ОПИС ДИНАМІКИ}(j) =$
 $D \ \& \ v \in [1, \text{LENGTH}(D)] \ \& \ m \in [\text{LOWER BOUND}(\psi, v), \text{UPPER BOUND}(\psi, v)] \rightarrow$
 $L \in \text{ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНЬ СЛЕДСТВИЯ}(\text{ELEMENT}(D, v)).$

Зв'язок причинно-наслідкового зв'язку й причинно-наслідкового відношення здійснюється саме за таким варіантом.

3 ПОСТАНОВКА ТА РІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ ПРОЕКТІВ ПЛАНІВ ОПЕРАТИВНИХ ДІЙ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРЕЦЕДЕНТІВ

Розробка алгоритму формування планів оперативних дій для підрозділів ДВГРС є логічним продовженням онтологічного моделювання Про "Система підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах". Зв'язок між побудованими вище онтологічними моделями й алгоритмом генерації планів оперативних дій представлено на рис. 3.1.

Під *прецедентом* у даному розділі будемо розуміти заздалегідь збережену в базі знань структуру даних, що представляє опис поточного оперативного завдання і план дій по її рішенню (метод рішення).

3.1 Постановка завдання планування оперативних дій при ліквідації аварій на шахтах

Управлінське рішення КАР являє собою тактичний план дій по ліквідації аварії або знаходженні виходу з конкретної проблемної ситуації [26].

Вихідними даними для постановки завдання планування, яку розв'язує алгоритм генерації проектів планів оперативних дій, є:

- характеристика оперативної обстановки (значення атрибутів об'єктів Про, узагальнень, процесів, події й дії підрозділів ДВГРС на сучасний момент часу);
- множина цілей (оперативних завдань), які можуть бути поставлені перед відділеннями ДВГРС у поточній ситуації;
- обмеження, у т.ч. визначаючий порядок пріоритету досягнення цілей.

Оскільки оперативний стан на аварії може змінюватись безперервно, необхідно постійно оновлювати робочу пам'ять планувальника системи підтримки прийняття рішень, що містить інформацію, зазначену вище. У реальних умовах відновлення пам'яті повинне забирати мінімальний час. Отже, потрібен інструмент, що дозволяє автоматично (або за участю КАР) виконувати функцію прогнозування стану оперативної обстановки з урахуванням дій учасників ліквідації аварії. Як такий

інструмент пропонується використати побудовану онтологічну модель причинно-наслідкових зв'язків (розділ 2.3), що дозволяє представляти прецеденти у вигляді варіантів причинно-наслідкових зв'язків. Таким чином, алгоритм формування проектів планів оперативних дій, у кожен момент часу використає інформацію, одержувану в результаті вибору різних варіантів, тим самим, пропонуючи ймовірні сценарії розвитку оперативної обстановки. При автоматичному формуванні тактичних планів оперативних дій при ліквідації аварій множина оперативних завдань (порятунок й евакуація гірників, ліквідація вогнища пожежі, захист шахтних об'єктів і матеріальних цінностей) і обмеження, що встановлюють порядок їхнього досягнення, визначаються на основі правил, отриманих з онтології оперативних дій і значень узагальнень. Ці узагальнення визначаються в результаті функціонування моделі причинно-наслідкових зв'язків ПрО або вводяться користувачем.

В [127] описується система підтримки прийняття рішень, що успішно використовується при проведенні операцій по порятунку цивільних осіб, військовослужбовців тилового забезпечення або конкретних осіб із зон військових конфліктів. Такі операції звичайно включають швидке, крапкове застосування сил (військового прикриття рятувальної операції), (наприклад, евакуація дипломатичних осіб) із заздалегідь запланованим відходом.

Система включає функціональний модуль планування загально цільового призначення (HICAP – Hierarchical Interactive Case-Based Architecture for Planning) [127,128]. HICAP забезпечує автоматизацію підготовки оперативних планів з можливістю їхнього редагування в інтерактивному режимі.

А також використання знань про аналогічні операції, представлених у системі, у вигляді прецедентів. Як метод планування використаний HTN-планування (hierarchical task-network – ієрархічна мережа) [129, 130]. На використанні цього методу заснована множина алгоритмів рішення завдань планування для різних ПрО [131-133].

Огляд найбільш відомих реалізованих проектів систем автоматизованого планування, заснованих на використанні прецедентів (Case-Based Planning) наданий у роботах [128, 134].

HTN-планування має ряд переваг, які є причиною використання його в перерахованих вище системах:

- простота в реалізації алгоритму;
- наочність алгоритму;
- гнучкість у виборі методів, використаних для пошуку рішень й адаптації планів;
- повнота й несуперечність алгоритмів, заснованих на HTN-плануванні.

Однак цей підхід має й ряд недоліків: недостатня гнучкість при формуванні плану: так, у класичному HTN-плануванні вся множина завдань (операцій), що формують предметну область визначена заздалегідь. При цьому план являє собою строго впорядковану множину елементарних (неподільних операцій), виконання яких приводить до кінцевої мети. Складність алгоритму пошуку рішення при великій кількості завдань (операцій) (експонентна).

Ці недоліки не дозволяють використати даний підхід в «чистому» виді при рішенні завдання автоматизації планування оперативних дій у розглянутій предметній області. Однак основні ідеї HTN-планування становлять інтерес для цілей нашого дослідження: ієрархічне подання рішення конкретного завдання; подання плану у вигляді впорядкованої послідовності завдань, що включають різного виду обмеження (ресурсні, тимчасові).

Пропонований нами підхід (ієрархічне сіткове планування оперативних дій - ІСП ОД), базуючись на зазначені вище ідеях HTN-планування [127-130, 135], дозволяє враховувати особливості розглянутої предметної області – паралельне виконання декількох тактичних завдань (відповідає наявності великої кількості різних операцій, використаних для реалізації тактичних цілей у досліджуваній предметній області (предметна область являє собою досить великий зріз знань про дійсність)).



Рисунок 3.1 – Зв'язок між онтологічними моделями й алгоритмом генерації оперативних планів дій при ліквідації аварій

3.2 Ієрархічне сіткове планування дій при ліквідації аварій (ІСПД ЛА)

В ієрархічному сітковому плануванні дій при ліквідації аварій (ІСПД ЛА) кожен стан середовища представляється множиною атомів, що мають значення *істина* (true) у цьому стані. Дії, називані в ІСПД ЛА *елементарними завданнями*, відповідають переходам станів, тобто кожна дія – це часткове відображення множини станів на множина станів. В ІСПД ЛА відбувається пошук методу реалізації цілей. Пошук відбувається в просторі завдань. Перш ніж описувати алгоритм ІСПД ЛА дамо ряд визначень.

Базові поняття й визначення ІСПД ЛА.

Мережа завдань – це деяка сукупність завдань, які необхідно виконати, а також обмежень, що враховують у порядку виконання завдань, способів ініціації змінних, і логічних виражень, рівних "true" перед тим або після того, як завдання буде виконано.

Мережа завдань, що містить тільки елементарні завдання, називається елементарною мережею завдань (ЕМЗ).

У загальному випадку, мережа завдань може містити неелементарні завдання (наприклад, рис. 3.2), що припускають пошук планувальником методів їхнього виконання.

Неелементарні завдання являють собою дії, що включають виконання множині інших завдань. Вони не можуть виконуватися прямо.

Планування відбувається через декомпозицію завдань і дозвіл конфліктів, суть якого пояснюється нижче. Схема алгоритму ІСП ЛА наведена на рис 3.3.

Метод – це семантична конструкція виду (α, d) , де α – неелементарне завдання, а d – мережа завдань. Передбачається, що для виконання завдання α необхідне виконання всіх завдань у мережі й завдань d без порушення обмежень в d [129-130].

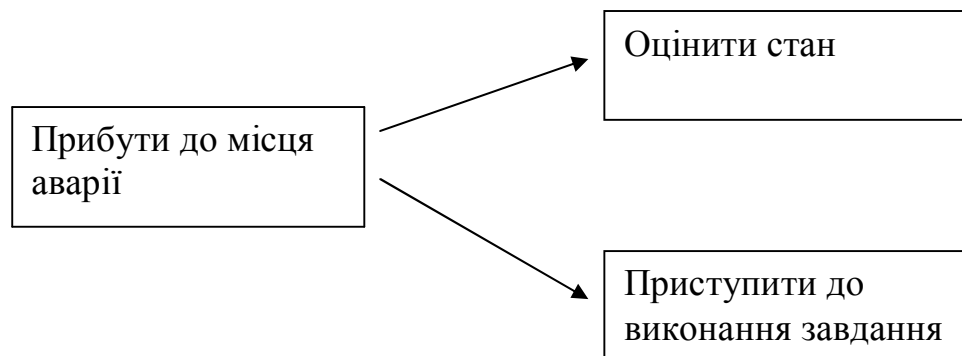


Рисунок 3.2 – Приклад елементарної мережі завдань

Алгоритм ІСП ЛА працює ітеративно. Він розділяє завдання та дозволяє вирішувати конфлікти доти, поки не буде знайдено безконфліктний план, що складається тільки з елементарних завдань.

Розширення (редукування) кожного неелементарного завдання здійснюється шляхом знаходження методу, за допомогою якого вона може бути виконана заміною неелементарного завдання мережею завдань. Варіант декомпозиції цього завдання представлений на рис. 3.4.

Завдання "Прибути до місця аварії" (рис. 3.2) можуть бути розширені, використовуючи метод, представлений на рис. 3.4, зробивши мережу завдань, показану на рис 3.6.

Породжена мережа завдань може містити конфлікти, що є наслідком взаємодій між завданнями. Функції знаходження й дозволу таких конфліктів (напр., введенням додаткових обмежень) виконуються відповідними процедурами, названими критикою. Критика вперше була уведена в системі NOAH [66,67] для ідентифікації й керування різного виду взаємодіями в різних мережах завдань.

Після кожної редукції застосовується множина критичних правил. Це робиться для розпізнавання й дозволу взаємодій між іншими редукціями. Таким чином, критика забезпечує загальний механізм для раннього виявлення взаємодій.

Процедури адаптації прецедентів розглядаються нижче.

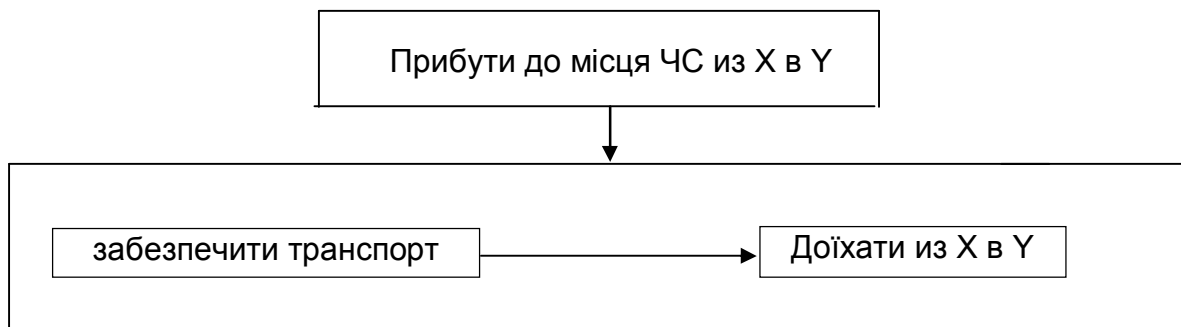


Рисунок 3.3 – Приклад методу рішення завдання "доставити рятувальників з X в Y"

Формальний апарат для побудови оперативних планів виконання дій при ліквідації аварій ґрунтується на використанні спеціальної мови ієрархічного сіткового планування. Синтаксис і семантика цієї мови описуються нижче.

3.3 Формалізований опис алгоритму формування планів оперативних дій при ліквідації аварій на шахтах

Формальний апарат для побудови оперативних планів виконання дій при ліквідації аварій ґрунтується на використанні спеціальної мови ієрархічного сіткового планування. Синтаксис і семантика цієї мови описуються нижче.

3.3.1 Синтаксис мови ієрархічного сіткового планування дій при ліквідації аварій на шахтах

L мовою ієрархічного сіткового планування дій (ІСПД) при ліквідації аварій назвемо мову першого порядку (з деякими розширеннями), сигнатура якого представлена сімкою

$$\Sigma = \langle S, V, Z, P, F, T, N \rangle, \text{ де}$$

$S = S^0 \cup S^d$ – множина сортів, розділена на дві незалежних множини сортів (типів) даних і сортів об'єктів;

V – множина символів змінних;

C – кінцева множина символів констант;

F – кінцева множина символів операцій;

P – кінцева множина символів елементарних тактичних операцій;

T – кінцева множина символів складених тактичних операцій;

N – множина символів, використаних для маркування завдань.

Всі перераховані вище множини незалежні. Кожен об'єкт сорту $s \in S^0$ належить деякому класу об'єктів – C_s , що визначає структуру й поведження його екземплярів. Об'єктний сорт $s \in S^0$ визначається множиною екземплярів – об'єктів й операцій над ними. На множині C_s може бути задане відношення предок-нащадок. При цьому клас нащадка успадковує властивості класу-предка. Таким чином, всі класи об'єктів $C_{s,s} \in S^0$ утворюють систему [ObjSpec].

Тип даних s визначається множиною елементів даних й операцій над ними. Фактично, елементи даних – це атрибути, що характеризують оперативно-тактичні особливості об'єкта пожежі, тактичні можливості підрозділів, інших об'єктів предметної області.

Терми $F_{\Sigma}(X)$ визначаються таким способом:

допустимо, дана множин змінних $x_l \in X$ сортів $s_l \in S^d$.

1. Кожна змінна $x_l : s_l$, є терм сорту s_l ;
2. Якщо $f_1 : s_1, \dots, f_n : s_n$ - терми сортів s_1, \dots, s_n і функція $s_1 \times \dots \times s_n \rightarrow s \in V$, то $\omega(f_1 : s_1, \dots, f_n : s_n) : s$ – терм сорту s .
3. Кожна змінна $x_l : s_l$, є терм сорту s_l ;
4. Якщо $f_1 : s_1, \dots, f_n : s_n$ - терми сортів s_1, \dots, s_n і функція $\omega : s_1 \times \dots \times s_n \rightarrow s \in V$, то $\omega(f_1 : s_1, \dots, f_n : s_n) : s$ – терм сорту s .
5. Ніщо більше не є термом в $F_{\Sigma}(X)$

Кожному терму f_i , у множині термів $T_{\Sigma}(X)$ відповідає сорт s_i

Логічні терми $BT_{\Sigma}(X)$ визначаються таким способом:

1. будь-яка змінна сорту bool - логічний терм в $BT_{\Sigma}(X)$;
2. якщо $f_1 : s_1, \dots, f_n : s_n$ - терми сортів s_1, \dots, s_n й $ps : s_1 \times \dots \times s_n$ - предикат, то $ps(f_1 : s_1, \dots, f_n : s_n)$ – логічний терм в $BT_{\Sigma}(X)$.
3. Ніщо більше не є термом в $BT_{\Sigma}(X)$.
4. будь-яка змінна сорту bool - логічний терм в $BT_{\Sigma}(X)$;
5. якщо $f_1 : s_1, \dots, f_n : s_n$ - терми сортів s_1, \dots, s_n й $ps : s_1 \times \dots \times s_n$ - предикат, то $ps(f_1 : s_1, \dots, f_n : s_n)$ — логічний терм в $BT_{\Sigma}(X)$.
6. Ніщо більше не є термом в $BT_{\Sigma}(X)$.

Стан оперативної обстановки в момент часу t являє собою систему множин:

$SC(t) = \langle OBJ, REL, F(t), FP(t), R(t), OS(t), P(t), Ag(t), G(t), D(t), E(t), CER(t) \rangle$, де

OBJ - множин об'єктів o_i , сортів $s_{o_1}, \dots, s_{o_n} \in S_{obj}$, що визначають оперативну обстановку на аварії в шахті. Наприклад, об'єкт гасіння, об'єкт протипожежного

водопостачання, структурна частина об'єкта пожежі (гірничий виробок, підземний склад, кабельний тунель і т.п.).

o_i - мають структуру, обумовлену відповідним класом C_{S_o} . Об'єкти ПрО можуть бути простими й складовими (тобто включати інші об'єкти).

Об'єкти ПрО можуть бути простими й складовими (тобто включати інші об'єкти).

Самим верхнім (кореневим класом) для всієї ієрархії класів об'єктів ПрО є клас *Domain Object* ($h, type$), що включає атрибути, загальні для всіх об'єктів ПрО: h – назва об'єкта сорту string, $type$ - тип об'єкта ПрО.

REL – множина асоціативних відносин rel , сортів $S_{rel_1}, \dots, S_{rel_n} \in S_{rel}$ між об'єктами ПрО.

$OP(t)$ – множина вогнищ пожежі сортів fp_i сортів $S_{fp_1}, \dots, S_{fp_n} \in S_{fp}$, виявлених у момент часу t : $op_i(h, obj, type, ch, sq, v_l, v_s)$.

Атрибути $type, ch, sq, v_l, v_s$ відповідно визначають, тип вогнища пожежі, характер поширення вогню, площа перетину гірничого виробку, лінійну швидкість поширення продуктів горіння, швидкість зміни площі вогнища пожежі, напрямок розвитку пожежі тощо.

$F(t)$ – множина відділень ДВГРС f_i сортів S_{f_1}, \dots, S_{f_n} притягнутих на момент часу t до ліквідації аварії (відділення, частина, загін і т.д.).

$R(t)$ – множина одиниць техніки й ПТВ (протипожежних систем, засобів пожежегасіння, генераторів інертних газів) r_i сортів $S_{r_1}, \dots, S_{r_n} \in S_r$ використаних в момент часу t для ліквідації аварії;

$OS(t)$ – множина використовуваних вогнегасників – засобів $os_i : S_{os_1}, \dots, \in S_{os}$.

$P(t)$ – множина процесів p_i сортів $S_{p_1}, \dots, S_{p_n} \in S_p$, що характеризують оперативну обстановку в момент часу t :

$p(h, obj, t, t_0, per, nc)$,

де h – назва процесу, obj – посилання на пов'язаний з ним об'єкт, t – тривалість процесу, t_0 – час початку процесу (по абсолютній шкалі часу), per – період динаміки

процесу, nc – необхідна умова – предикат, що визначає можливість (*true*) або неможливість (*false*) ініціації даного процесу;

$Ag(t)$ – множина узагальнень ag_1 сортів: $s_{ag_1}, \dots, s_{ag_n} \in S_{ag}$, що характеризують оперативну обстановку в момент часу t ;

$G(t)$ – множина цілей g_1 сортів: $s_{g_1}, \dots, s_{g_n} \in S_g$, що визначає оперативні завдання відділень ДВГРС у момент часу t , має наступну структуру: $g(h, obj, nc, form, result, [f, r, os, timereq])$, де h – назва, obj – об'єкт, з яким зв'язана мета, $form$ – форма постановки мети (ціль як бажаний стан об'єкта, мета – сама дія й ціль – складне завдання), $forme, \{state, action, task\}$, $result$ – атом, що має значення *true* якщо ціль досягнута, або *false* у протилежному випадку, f, r й os – обмеження на ресурси, необхідні для реалізації мети (необов'язково), $timereq$ – час, за яке необхідно виконати завдання (необов'язково), nc – необхідна умова.

$D(t)$ – множина дій d , сортів $s_{d_1}, \dots, s_{d_n} \in S_d$, чинених притягнутими на пожежу відділеннями ДВГРС,

$d(h, obj, t_0, nc, per, [f, r, os, time])$, де f, r й os – використовувані ресурси (необов'язково), $time$ – час, що пройшов з початку дії.

$E(t)$ – множина подій e_t сортів $s_{e_1}, \dots, s_{e_n} \in S_t$, що виникли з моменту початку операції ліквідації аварії й до моменту часу t :

$p(h, obj, t_0, nc)$, де t_0 – час виникнення даної події (по абсолютній шкалі часу).

$CER(t)$ – множина причинно-наслідкових зв'язків (ПСС) cer , типів $s_{cer_1}, \dots, s_{cer_n} \in S_{cer}$, що діють у момент часу t .

Причинно-наслідковим зв'язком будемо називати кортеж $cer(h, type, rel, cs, ef, nc, to, cp, atct, cons [cc, per, mod])$, де

h – назва,

$type$ – тип,

rel – просторове відношення між об'єктами ПрО;

cs – причина, $cs \in PU EU DU Ag$;

ef – наслідок, $ef \in P U E U Ag U G$;

nc – необхідна умова;

t_0 – момент початку причинно-наслідкового зв'язку;

cp – умовна ймовірність;

ii – умова на причину (необов'язково);

per – період динаміки (необов'язковий);

mod – модальність (можливість/необхідність) (необов'язкова);

$atct$ – посилка імплікації;

$cons$ – висновок імплікації.

Просторові відносини між об'єктами ПрО rel , встановлюють типи просторових зв'язків між об'єктами ПрО. Результат операцій, що визначає зміни атрибутів введених понять, пов'язаних з об'єктами ПрО, обумовлений значеннями цих відносин.

Запис $rel(type, obj_1, obj_2, i)$ означає, що об'єкт ПрО obj_2 складається відносно типу $type$ з об'єктом ПрО obj_1 .

Гірничорятувальні підрозділи (відділення ДВГРС) $f_i \in F(t)$, притягнуті до ліквідації аварії, асоціюються з діями, необхідними для реалізації деякої мети (виконання завдання):

$f(h, type, obj, num)$, де h – назва підрозділу,

$type$ – тип (загін, відділення, ланка й т. п),

obj – місцезнаходження підрозділу,

num – кількість людей у підрозділі.

Множина одиниць техніки $r_i \in R(t)$ застосованої для ліквідації аварії й відділень ДВГРС асоціюються з діями або із цілями (завданнями при ліквідації аварій), для реалізації яких вони використовуються.

$r(h, type, num)$, де h – назва одиниці, $type$ – тип, num – кількість одиниць техніки типу $type$.

Вуглегасні засоби $os \in OS(t)$ визначаються аналогічно пожежній техніці й ПТВ: $os(h, type, q)$, де h – назва одиниці, $type$ – тип, q – кількість вогненосного засобу, використовуваного для виконання деякого оперативного завдання.

Узагальнення – характеризують сформовану ситуацію на деякому об'єкті (у певному місці):

$ag\{h, obj\}$, де h – назва узагальнення,

obj – посилання на пов'язаний з ним об'єкт.

Таким чином, функція стану оперативної обстановки $SC(t)$ задає множину вихідних даних, необхідних для рішення завдання планування бойових дій при гасінні пожеж у момент часу t .

У системі множин $SC(t)$ виділяються дві відносини:

$SC_o(t) = \langle OBJ, REL, OP(t), P(t), E(t), Ag(t) \rangle$, що відбиває об'єктивну складову оперативної обстановки на аварії, тобто зовнішнє середовище, що не залежить прямо від волі або бажання КАР при керуванні діями, спрямованими на ліквідацію аварії;

$SC_s(t) = \langle D(t), F(t), R(f), OS(t), G(t) \rangle$, відповідно, відбиває суб'єктивну сторону оперативної обстановки на аварії, що прямо залежить від волі КАР, інших посадових осіб при керуванні ними оперативними діями на аварії. Так, КАР приймає рішення щодо використаних способів і тактичних прийомів, кількості сил, що вимагаються, і засобів, напрямків їхнього застосування (хоча це не виключає обмеження на можливі стани $C_s S(t)$). Описані вище характеристики оперативної обстановки мають сорт, що ставляться до об'єктного типу:

$$S_{ag} \cup S_g \cup S_o \cup S_{fp} \cup S_f \cup S_r \cup S_e \cup S_{ro} \cup S_p \cup S_d \subset S_o.$$

Основні типи даних, використовувані для визначення значень атрибутів об'єктів ПрО – bool, string, int, real, set $\in S^d$.

Визначимо для кожної змінної x_i сорту $S_i \in \{\text{bool}, \text{int}, \text{real}, \text{set}\}$ множину можливих значень M_i . Тоді система множин $\psi_i(K_i^1, \dots, K_i^m)$ є розбивкою множини M_i , а функцію приналежності елемента $x_i = a_i$ до деякого класу K_i^j , що повертає значення сорту bool позначимо за $\psi_1(x_i, K_i^j) \psi_1(x_i, K_i^j) = \text{true}$, якщо $x_i \in K_i^j$. Аналогічно для об'єктів з n параметрами.

$$\psi_0^m((x_i^1, K_i^{j_1}), \dots, (x_i^n, K_i^{j_n})) = \text{true}, \text{ якщо } x_i^1 \in K_i^{j_1}, \dots, x_i^n \in K_i^{j_n}. \text{ Класи } K_i^j \text{ відбиті в таблиці}$$

3.1 у вигляді виражень виду $[]$ для об'єктів сортів $S_i \in \{\text{int}, \text{real}\}$, і $\{\}$ для об'єктів сорту $s = \text{set}$.

Стан оперативної обстановки в момент часу t інтерпретується алгоритмом ІСП ОД у вигляді списку основних атомів. Якщо $P \in k$ -мірна предикатна константа, і t_1, \dots, t_k - терми, то $P(t_1, \dots, t_k)$ – атом.

Якщо t_1, \dots, t_k – константи, то $P(t_1, \dots, t_k)$ – основний атом. Кожна функція приналежності ψ_i відображається у відповідний атом P_i . При цьому:

$$P_1(t) = \psi_i(x_i, K_i^j)$$

.....

$$P_1(t_1, \dots, t_n) = \psi_0^n((x^1, K^{j^1}), \dots, (x^n, K^{j^n})), t_1 = x^1, \dots, t_n = x^n.$$

3.3.2 Характеристика оперативної обстановки і їхня інтерпретація

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ

$$(achieve[nc], P(p.h, obj) = true \wedge P(p.t_0 \in [] \wedge p.t' \in [] \wedge p.per \in [] \wedge t > p.t_0 \wedge t = p.t_0 + p.t') = true$$

"досягнете [необхідну умову], множина процесів [назва процесу, об'єкт] = істина й [час початку процесу $\in []$ \wedge час закінчення процесу] $\in []$ \wedge період динаміки процесу $\in []$ \wedge час $>$ часу початку процесу \wedge часу = час початку процесу + час закінчення процесу) = "істина"

ДІЯ ПІДРОЗДІЛІВ ДВГРС

$$(achieve[nc], P(dp.h, dobj) = true \wedge P(d.t_0 \in [] \wedge d.t' \in [] \wedge d.per \in [] \wedge d.nc = true \wedge t > d.t_0 \wedge t = d.t_0 + d.t') = true;$$

"досягнете [необхідну умову], найменування елементарної тактичної операції = "істина" \wedge початок тактичної операції $\in []$ \wedge закінчення тактичної операції $\in []$ \wedge період дії тактичної операції $\in []$ \wedge період дії необхідних умов = "істина" \wedge час $>$ часу початку дії \wedge час = сумі часу початку й закінчення дії".

ПОДІЯ

$$(achieve[nc], P(h, e, obj) = true \wedge P(e.t_0 \wedge t > e.t_0) = true)$$

"досягнете [необхідну умову], (множина подій, найменувань, об'єктів) = "істина"
 \wedge (час початку події \wedge час $>$ часу початку події) = "істина";

УЗАГАЛЬНЕННЯ

$$P(agh, ag.obj) = true \wedge P(ag \in \{\}) = true$$

"процес (найменування узагальнення, узагальнення об'єкта) = істина \wedge процес
 (узагальнення $\in \{\}$) = істина";

ОБ'ЄКТ Про

$$P((obj.h, obj.type) \wedge P(obj.num)) \in [] = true$$

"(назва одиниці, тип об'єкта й) \wedge (номер об'єкта) $\in []$ = істина";

АСОЦІАТИВНЕ ВІДНОШЕННЯ ОБ'ЄКТІВ Про

$$P(rel.type, rel.obj_1, obj_2) = true$$

"тип просторового відношення між об'єктами, відносини між об'єктами 1 й 2 = істина";

ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК

$$(achieve[cc], achieve[nc], (P(cer.type, cer.rel, obj_1, obj_2, cer.cs, cer.ef) = true \wedge P(rel.type, rel.obj_1, rel.obj_2) = true \wedge P(cer.t_0 \in [] \wedge cer.cp \in [0,1] \wedge t.e.t_0) = true \wedge P(cer.f_1 \in [a_1...b_1] \wedge \dots \wedge cer.f_n \in [a_n...b_n]) = true \wedge [P(cer.per \in [] \wedge cer.mod \in \{необходимость, возможность\}) = true])) \equiv A = true$$

"досягнете [умову на причину], досягнете [необхідну умову], (процес (тип причинно-наслідкового зв'язку, асоціативне відношення причинно-наслідкового зв'язку, об'єкт-1, об'єкт-2, причина, наслідок) = істина И процес (асоціативне відношення, об'єкт-1, об'єкт-2) = істина И процес (причинно-наслідковий зв'язок $t_0 \in []$

И умовна ймовірність причинно-наслідкового зв'язку $\in [0,1]$ И момент початку причинно-наслідкового зв'язку) = істина И процес (причинно-наслідковий зв'язок $f_1 \in [a_1..b_1]$ И.....И причинно-наслідковий зв'язок $f_n \in [a_n..b_n]$) = істина И [процес (період динаміки причинно-наслідкового зв'язку $\in []$ И модальність причинно-наслідкового зв'язку $\in \{\text{необхідність, можливість}\}$) = істина]] $\equiv A = \text{істина}$ ".

ЗНАЧЕННЯ ОЗНАКИ S У МОМЕНТ ЧАСУ t ВИЗНАЧАЄТЬСЯ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИМ ЗВ'ЯЗКОМ

$$A = \text{true} \wedge P(cs) \in P(t) \wedge \text{cer}.cs = s \wedge s \in [a..b] = \text{true}$$

"A = істина И причина процесу \in множин процесів И причинно-наслідковий зв'язок = сорт И сорт $[a..b] = \text{істина}$ ".

ЦІЛЬ ЯК БАЖАНИЙ СТАН ОБ'ЄКТА

$$(\text{achieve}[\text{result}], P(g.h, g.obj) = \text{true} \wedge P(g.nc = \text{true} \wedge g.f \in [] \wedge g.r \in [] \wedge g.os \in [] \wedge g.form = \text{state}) = \text{true})$$

"досягнете [результат], процес (назва мети, об'єкт із яким зв'язана мета) = істина И процес (необхідна умова досягнення мети = істина И обмеження на ресурси необхідні для досягнення мети $\in [] = \text{state}$) = істина"

ЦІЛЬ ЯК ДІЯ ПІДРОЗДІЛУ ДВГРС

$$(\text{provide}[\text{result}, \text{begin}], P(g.h, g.obj) = \text{true} \wedge P(g.f \in [] \wedge g.r \in [] \wedge g.os \in [] \wedge g.form = \text{action}) = \text{true}, \text{provide}[\text{result}, \text{end}]))$$

"забезпечте [результат, початок], процес (назва мети, об'єкт із яким зв'язана мета) = істина И процес (необхідна умова досягнення мети = істина И обмеження на ресурси необхідні для досягнення мети $\in []$ И форма постановки мети = дія) = істина, забезпечить [результат, кінець]))".

ЦІЛЬ ЯК ЕЛЕМЕНТАРНЕ ЗАВДАННЯ

$$(\text{achieve}[\text{nc}], P(g.h, g.obj) = \text{true} \wedge P(g.f \in [] \wedge g.r \in [] \wedge g.os \in [] \wedge g.form = \text{task}) = \text{true} \wedge P(g.result = \text{true}), \text{do}[f(x_1, \dots, x_k)])$$

"досягнете [необхідну умову], процес (назва мети, об'єкт із яким зв'язана мета) = істина И процес (обмеження на ресурси необхідні для досягнення мети $\in []$ И форма постановки мети = завдання) = істина И процес (вид результату = істина), зробіть $[f(x_1, \dots, x_k)]$ ".

ЦІЛЬ ЯК СКЛАДНЕ ЗАВДАННЯ

$$(achieve[nc], per.form[t(x_1, \dots, x_k)], P(g.h, \\ g.obj) = true \wedge P(g.f \in [] \wedge g.r \in [] \wedge g.os \in [] \wedge \\ g.form = task) = true \wedge P(g.result = true))$$

"досягнете [необхідну умову], період динаміки, форма постановки $[t(x_1, \dots, x_k)]$, процес (назва мети, об'єкт із яким зв'язана мета) = істина И процес (обмеження на ресурси необхідні для досягнення мети $\in []$ И форма постановки = завдання) = істина И процес (узагальнення результат = істина)".

Атоми, що присутні у списку в даному стані, рівні *true*, а атоми, відсутні в списку в цьому ж стані, рівні *false*.

Аналогічно [129, 130] уведемо наступні синтаксичні конструкції:

Елементарна тактична операція представляється у вигляді наступної синтаксична конструкція

$$do[f(x_1, \dots, x_k)], \text{ де } f \in F \text{ і } x_1, \dots, x_k \in T_{\Sigma}(X) \text{ – терми.}$$

Цільове тактичне завдання – синтаксична конструкція типу *achieve[l]*, де *l* – літерал, тобто це атом або заперечення атома.

Завдання, що забезпечує (важливий сам процес її виконання, наприклад, захист сусідніх підземних споруджень під час пожежі) – синтаксична конструкція виду

$$provide[l, flag], \text{ де } flag \in \{begin, end\}$$

Складене завдання – синтаксична конструкція

$$perform[t(x_1, \dots, x_k)], \text{ де}$$

$$t \in T \text{ і } x_1, \dots, x_k \in T_{\Sigma}(X) \text{ – терми.}$$

Таблиця. 3.1 – Характеристики оперативної обстановки

Характеристика оперативної обстановки в момент часу t	Інтерпретація алгоритмом ІСП БД
Процес $p(h, obj, t_0, t', per, nc) \in P(t)$	$(achieve[nc], P(p.h, obj) = true \wedge P(p.t_0 \in [] \wedge p.t' \in [] \wedge p.per \in [] \wedge t > p.t_0 \wedge t = p.t_0 + p.t') = true$
Дія ДВГРС $d(h, obj, t_0, t', nc, form, per) \in D(t)$	$(achieve[nc], P(dp.h, dobj) = true \wedge P(d.t_0 \in [] \wedge d.t' \in [] \wedge d.per \in [] \wedge d.nc = true \wedge t > d.t_0 \wedge t = d.t_0 + d.t') = true$
Подія $e(h, obj, t_0, nc) \in E(t)$	$(achieve[nc], P(e, h, e, obj) = true \wedge P(e.t_0 \wedge t > e.t_0) = true$
Узагальнення $ag(h, obj) \in Ag(t)$	$P(agh, ag.obj) = true \wedge P(ag \in \{\}) = true$
Об'єкт Про $obj(h, type, num) \in OBJ$	$P(obj.h, obj, type) \wedge P(obj.num) \in [] = true$
Асоціативне відношення об'єктів Про $rel(type, obj_1, obj_2) \in REL$	$P(rel.type, rel.obj_1, obj_2) = true$
Причинно-наслідковий зв'язок $cer(h, type, rel, cs, ef, nc, t_0, cp, atkt, cons, [cc, per, mod]) \in CER(t)$, де $atct - (af_1 \in [a_1..b_1], \dots, [a_n..b_n])$, причина cs пов'язана з об'єктом obj_1 , наслідок ef пов'язане з об'єктом obj_2	$(achieve[cc], achieve[nc], (P(cer.type, cer.rel, obj_1, obj_2, cer.cs, cer.ef) = true \wedge P(rel.type, rel.obj_1, rel.obj_2) = true \wedge P(cer.t_0 \in [] \wedge cer.cp \in [0,1] \wedge t.e.t_0) = true \wedge P(cer.af_1 \in [a_1..b_1] \wedge \dots \wedge cer.f_n \in [a_n..b_n]) = true \wedge [P(cer.per \in [] \wedge cer.mod \in \{необходимость, возможность\}) = true])) \equiv A = true$
Значення ознаки s у момент часу t визначаються причинно-наслідковим зв'язком $cer(h, type, obj_1, obj_2, cs, ef, nc, t_0, cp, atkt, cons, [cc, htr, mod]) \in CER(t)$, <i>где</i> $type = проявление_процесса$, $cons = ef \in [a..b]$	$A = true \wedge P(cs) \in P(t) \wedge cer.cs = s \wedge s \in [a..b] = true$
Ціль як бажаний стан об'єкта $g(h, obj, nc, form, result, [f, r, os, timereq]) \in G(t)$	$(achieve[result], P(g.h, g.obj) = true \wedge P(g.nc = true \wedge g.f \in [] \wedge g.r \in [] \wedge g.os \in [] \wedge g.form = state) = true$
Ціль як дія ДВГРС (напр., охолодження гірничого масиву) $g(h, obj, nc, form, result, [f, r, os, timered]) \in G(t)$	$(provide[result, begin], P(g.h, g.obj) = true \wedge P(g.f \in [] \wedge g.r \in [] \wedge g.os \in [] \wedge g / form = fction) = true, provide[result, end]))$

Атоми, що присутні у списку в даному стані, рівні *true*, а атоми, відсутні в списку в цьому ж стані, рівні *false*.

Аналогічно [129, 130] уведемо наступні синтаксичні конструкції:

Елементарна тактична операція представляється у вигляді наступної синтаксична конструкція

$do[f(x_1, \dots, x_k)]$, де $f \in F$ і $x_1, \dots, x_k \in T_{\Sigma}(X)$ – терми.

Цільове тактичне завдання – синтаксична конструкція типу $achieve[l]$, де l – літерал, тобто це атом або заперечення атома.

Завдання, що забезпечує (важливий сам процес її виконання, наприклад, захист сусідніх підземних споруджень під час пожежі) – синтаксична конструкція виду

$provide[l, flag]$, де $flag \in \{begin, end\}$

Складене завдання – синтаксична конструкція

$perform[t(x_1, \dots, x_k)]$, де

$t \in T$ і $x_1, \dots, x_k \in T_{\Sigma}(X)$ – терми.

Тактичний план оперативних дій – це послідовність елементарних завдань.

Мережа завдань – синтаксична конструкція:

$[(n_1 : a_1) \dots (n_m : a_m), \varphi]$, де

a_i – завдання;

$n_i \in N$ – маркування a_i ;

Вона необхідна, щоб відрізнити інші екземпляри в мережі завдань.

φ – "булева" формула, складена з обмежень наступних типів:

1. Єднальні змінні, такі як $(v = v')$ і $(v = c)$, де $v, v' \in V$, $c \in C$, у т.ч.:

v_i – тимчасового обмеження на виконання цільового завдання $achieve[l]$;

v_r – ресурсне обмеження, для виконання завдань мережі $achieve[l]$, $provide[l, (begin, end)]$. Той самий ресурс у те саме час може бути задіяний для рішення тільки одного цільового завдання.

2. Обмежень порядку, що задають відносинами:

$(n < n')$ – означає, що завдання, маркіроване n , повинна передувати завданню, маркірованої n' ;

$(n \leq n')$ означаючої, що початок виконання завдання n повинен починатися раніше початку виконання завдання n' , кінець виконання завдання n повинен бути раніше кінця виконання завдання n' ;

$(n \leq n')$ означає, що початок виконання завдання n повинен починатися пізніше початку виконання завдання n' , кінець виконання завдання повинен бути раніше кінця виконання завдання n' ;

$(n \leq n') \vee (n' \leq n)$ означає, що завдання n повинне бути виконано раніше завдання n' .

3. обмежень станів, таких як, $(n, l), (l, n), (n, l, n'), (n \# n'), (n // n')$, де l – літерали, $n, n' \in N$;

$(n, l), (l, n)$ і (n, l, n') означає, що l приймає значення *true* відразу після завдання n , перед завданням n' , і у всіх станах між завданнями n й n' , відповідно;

$(n \# n')$ означає, що завдання n і n' не можуть виконуватися одночасно - виконується завдання, пріоритет якого в цей момент більше, тобто якщо при цьому $(n \square n')$, те $(n < n')$;

$(n // n')$ – завдання виконуються одночасно. У формулах обмежень можуть бути присутнім операції заперечення й додавання.

4. обмеження пріоритету, такий як $(n \gg n')$ і $(n * n')$ $(n \square n')$ - означає, що завдання n має більший пріоритет у порівнянні із завданням n' ; $(n * n')$ — пріоритет не визначений;

Час початку виконання оперативних завдань у мережі завдань d позначимо $btime[d]$; час закінчення – $etime[d]$. Шкала часу збігається з оперативним часом ліквідації аварії.

Множину завдань, виконання яких почалося раніше за часом інших завдань у мережі, позначимо через $first[d]$. Множину завдань, виконання яких закінчилося за

часом пізніше інших завдань у мережі, позначимо через *last[d]*. Так, наприклад, формальний опис мережі завдань, показаної на рис. 3.6 має вигляд:

$$[(n_1: do\ I\ подати\ піну\ на\ гасіння\ (v_1))](n_2: provide\ [захист\ конструкцій(v_2),\ begin])(n_3: achieve\ [ліквідувати\ вогнище\ загоряння\ (v_3)])(n_4: achieve\ [розібрати\ завал(v_3)])(n_5: achieve\ [евакуувати\ людей\ (v_3)])(n_6\ provide\ [захист\ конструкцій\ (v_2),\ end])(n_1 < n_5) \wedge (n_2 < n_5) \wedge (n_3 < n_5) \wedge (n_4 < n_5) \wedge (n_3 < n_6) \wedge (n_1\ подача\ піни\ забезпечена\ (v_1),\ n_5) \wedge (n_2\ захист\ конструкцій\ забезпечується\ (v_2),\ n_5) \wedge (n_3,\ вогнище\ ліквідоване\ (v_3),\ n_5) \wedge (n_4,\ завал\ розібраний\ (v_3),\ n_5) \wedge (подача\ піни\ забезпечена\ (v_1),\ n_2) \wedge (вибухонебезпечних\ речовин\ немає\ (v_3),\ n_5) \wedge \neg(v_1 = v_2) \wedge \neg(v_1 = v_3) \wedge \neg(v_2 = v_3)].$$

У цій мережі всього п'ять завдань (n_1, \dots, n_5) . Мережа завдань включає обмеження:

- дія n_5 повинне бути зроблене в останню чергу;
- перед евакуацією людей з об'єкта v_3 повинна бути забезпечена подача піни на об'єкти v_1 і v_2 ;
- ліквідоване вогнище загоряння на об'єкті v_3 і розібраний завал на об'єктах v_3 , v_1 , v_2 і v_3 .

Перед виконанням завдання v_4 на об'єкті не повинне перебувати вибухонебезпечних речовин, а перед подачею піни об'єкт v_2 , повинен бути забезпечений піною об'єкт v_1 (тобто опис стану середовища повинне включати відповідні основні атоми).

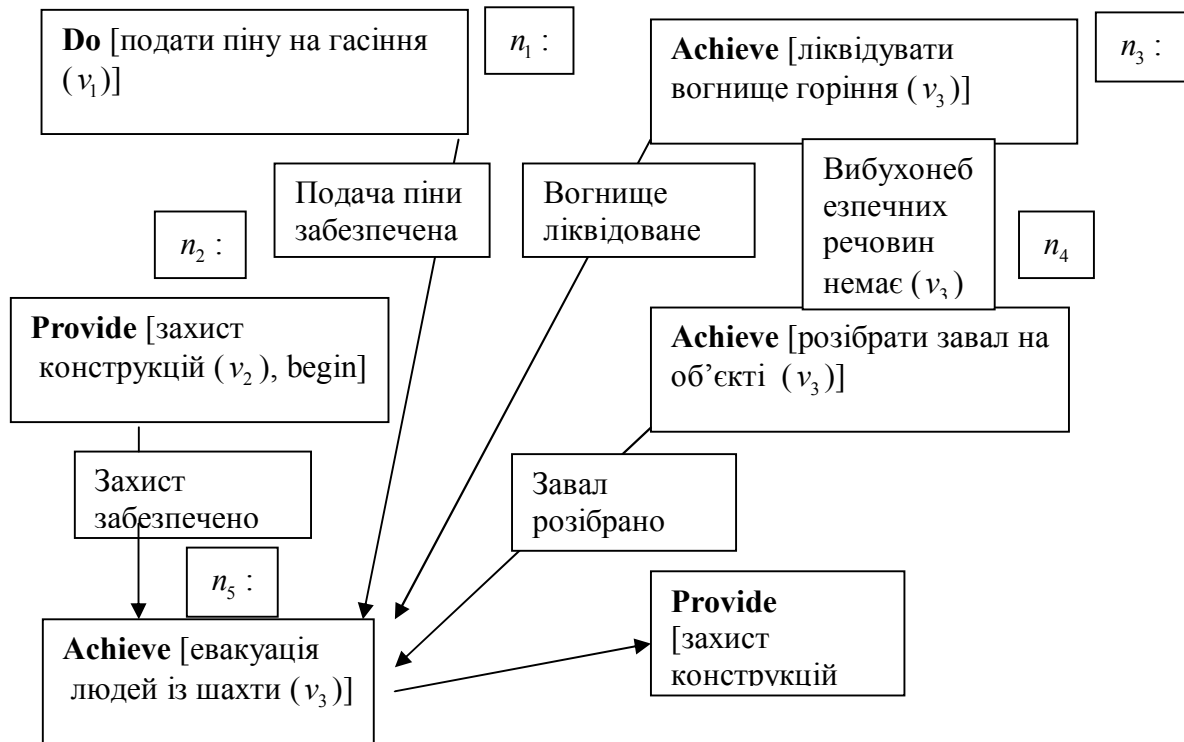


Рисунок 3.4 – Приклад графічного подання мережі завдань

Оператор – синтаксична конструкція виду

[operator $f(v_1, \dots, v_k)$ (pre: l_1, \dots, l_m) (post: l'_1, \dots, l'_n)], де

f – символ для елементарного завдання;

l_1, \dots, l_m – літерали, що визначають, коли завдання f здійсненне, l'_1, \dots, l'_n – літерали,

що описують ефект від виконання завдання f ; v_1, \dots, v_k – символи змінних, присутні в літералах, у т.ч. v^t , $i v_r$.

Метод – це конструкція виду (a, d) , де a – неелементарне завдання, а d – мережа завдань.

Як уже визначалося вище, для виконання завдання a , необхідне виконання всіх завдань у мережі завдань d без порушення обмежень в d . Наприклад, запис методу для досягнення мети *порятунок людей* (v_3) буде мати вигляд:

$\{achieve(\text{порятунок гірників}(v_3)), d\}$, де d – мережа завдань, представлена на рис. 3.6.

Для виконання цільового завдання ($achieve[I]$) літерал I повинен мати значення $true$ наприкінці її виконання, і це є неявним обмеженням у всіх методах для цільових завдань. Якщо ціль уже має значення $true$, тоді використовується порожній план для її досягнення. Таким чином, для кожного цільового завдання, неявно є метод ($achieve[I]$), $[(n: do[f],(l,n))]$, що містить тільки одне фіктивне елементарне завдання f без обліку результатів його виконання, і обмеження, по якому ціль I приймає значення $true$ відразу перед $do[f]$ [129, 130].

Для завдань, що забезпечують, ціль I приймає значення $true$ відразу після початку виконання завдання $provide[I, begin]$ тобто до закінчення виконання $provide [I, end]$. Методом для досягнення $I = true$ є ($provide$ (захист конструкцій (v_2)), d), де d - елементарна мережа завдань.

Нехай предметна область $D(t)$ у момент часу t представляється трійкою

$\langle S(t), Op, Me \rangle$, де

$S(t)$ – стан оперативної обстановки в момент часу t ; Op – множин операторів;

Me – множин методів.

Тоді екземпляр завдання планування P є пари $P = \langle d, D(t') \rangle$, де

$D(t')$ – предметна область у момент постановки завдання t' ;

d – мережа завдань, для якої нам необхідно скласти план.

$solves (\sigma, d, S(t'))$ – синтаксична конструкція, що використовується для позначення того, що σ – тактичний план для мережі завдань d перебуває в стані $S(t')$.

3.3.3 Семантика мови ієрархічного сіткового планування оперативних дій

Семантика мови ІСП ОД, аналогічно семантиці HTN-планування, представляється кортежем $M = \langle S_m, F_M, T_M \rangle$. Надалі, якщо з контексту ясно, на яку модель робиться посилання, то нижній індекс M опускається:

$M = \langle S, F, T \rangle$, де

$S = 2^{(\text{основные_атомы})}$ – множина можливих станів оперативної обстановки;

$F : F \times S^d \times S \rightarrow S$ – функція відображення дій підрозділів ДВГРС, що визначає стан, який буде зафіксовано відразу після початку й після завершення дії ДВГРС;

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

відображає кожне неелементарне завдання $a \in T$ на множині (не обов'язково кінцеве) основних елементарних завдань $T(a)$.

Кожен стан $s \in S$ являє собою множину, що складається з атомів, що мають значення *true* у цьому стані. Любий атом, відсутній в описі стану, дорівнює *false*. Таким чином, стан s відповідає якомусь "моментальному знімку" зовнішнього середовища.

Приймаючи як вхідні параметри символ елементарного завдання з множині F , параметри з множини S^d й вихідний стан S , функція подання дій підрозділів ДВГРС T визначає, який стан буде зафіксовано відразу після початку виконання або після завершення дії. Функція подання дій ДВГРС T може бути не визначена для деяких вхідних станів, а саме для тих, для яких дана дія не здійсненна.

Кожна елементарна мережа завдань d в $T(\alpha)$ містить множини дій, за допомогою яких досягається α , за певних умов (які визначені у формулі обмежень для d).

Існує два обмеження на інтерпретацію $T(\text{achieve}[I])$ цільового завдання $\text{achieve}[I]$. По-перше, $I = \text{true}$ наприкінці будь-якої мережі завдань в $T(\text{achieve}[I])$.

По-друге, оскільки для виконання цільового завдання може бути використаний порожній план (якщо цільовий літерал завжди *true*), то $T(\text{achieve}[I])$ повинен містити мережу завдань, що складається з єдиного фіктивного завдання. При тому, що I завжди "істина".

Обмеженням на інтерпретацію $T(\text{provide}[I])$, що забезпечує завдання $\text{provide}[I] = \text{provide}[l, \text{begin}] \wedge \text{provide}[l, \text{end}]$, є $I = \text{true}$ від початку до кінця будь-якої мережі завдань в $T(\text{provide}[I])$. Друге обмеження для $T(\text{provide}[I])$ таке ж, як і для $T(\text{achieve}[I])$.

Мережі завдань можуть інтерпретуватися так само, як і неелементарні завдання. Тому функція T для мережі завдань розглядається як:

1. $T(a) = \{(n: a), \text{true}\}$, якщо a – основна елементарна тактична операція. Інакше кажучи, для рішення елементарного тактичного завдання a , досить виконати операцію a (якщо вона здійсненна).

2. $T(d) = \{d\}$, якщо d – основна елементарна мережа завдань.

3. Якщо для виконання неелементарної мережі тактичних завдань $d = [(n_1 : a_1) \dots (n_m : a_m), \varphi]$ необхідно виконати кожне завдання в d без порушення обмежень, то

$$T(d) = \{compose(d_1, \dots, d_m, \varphi) \mid d_1 = [(n_{i1} : a_{i1}) \dots (n_{ik_i} : a_{ik_i}), \varphi_i] \in T(a_i), i = 1, \dots, m\} ,$$

де $compose(d_1, \dots, d_m, \varphi) = [(n_{11} : a_{11}) \dots (n_{mk_m} : a_{mk_m}), \varphi_1 \wedge \dots \wedge \varphi_m \wedge \varphi']$, у якій різні типи обмежень (у т.ч. тимчасові й ресурсні) у булевій формулі φ' виходять зі φ шляхом наступних підстановок:

– $(n_1 < n_j)$ на $(last[n_{i1}, \dots, n_{ik_i}] < first[n_{j1}, \dots, n_{jk_j}])$, оскільки всі завдання в

декомпозиції n_i , повинні передувати всім завданням у декомпозиції n_j ;

– (l, n_i) на $(l, first[n_{i1}, \dots, n_{ik_i}])$, оскільки l повинен бути *true* відразу

– перед першим завданням у декомпозиції n_i ;

– (n_i, l) на $(last[n_{i1}, \dots, n_{ik_i}], l)$;

– (n_i, l, n_j) на $(last[n_{i1}, \dots, n_{ik_i}], l, first[n_{j1}, \dots, n_{jk_j}])$;

– у виразах $first[]$ або $last[]$, n_i замінюється на n_{i1}, \dots, n_{ik_i} .

– $(n_i \leq n_j)$ на $(first[n_{i1}, \dots, n_{ik_i}] < first[n_{j1}, \dots, n_{jk_j}]) \wedge (last[n_{i1}, \dots, n_{ik_i}] < last[n_{j1}, \dots, n_{jk_j}])$, тобто частина завдань у декомпозиції n_i повинна передувати всім завданням у декомпозиції n_j причому частина завдань у декомпозиції n_j повинна виконуватися після всіх завдань у декомпозиції n_i ;

– $(n_i \leq n_j)$ на $(first[n_{i1}, \dots, n_{ik_i}] > first[n_{j1}, \dots, n_{jk_j}]) \wedge (last[n_{i1}, \dots, n_{ik_i}] < last[n_{j1}, \dots, n_{jk_j}])$,

тобто частина завдань у декомпозиції n_j , повинна передувати всім завданням у декомпозиції n_i причому частина завдань у декомпозиції n_j повинна виконуватися після всіх завдань у декомпозиції n_i ;

4. $T(d) = U_d'$ – основна мережа завдань ; $T(d')$ якщо d – мережа завдань, що містить змінні.

5. за замовчуванням, $n_i // n_j, n_i * n_j$.

Моделі M відповідає оператор f , якщо елементарне завдання, асоційоване із цим оператором здійсненне при умовах, певних у передумовах оператора, і робить ефект, певний у пост-умовах оператора. Формально, оператор $[f(v_1, \dots, v_k)(pre: l_1, \dots, l_m) (post: l'_1, \dots, l'_n)]$ задовольняє моделі M , якщо для будь-якої підстановки θ й будь-якого стану s , T_M визначається в такий спосіб: (E_n , E_p – множині негативних і позитивних літералів в) l_1, \dots, l'_n : якщо $l_1\theta, \dots, l'_n\theta$ рівні *true* в s , тоді $T_M(f, v_1\theta, \dots, v_k\theta, s) = (s - E_n\theta) \cup E_p\theta$, інакше, $T_M(f, v_1\theta, \dots, v_k\theta, s)$ не визначена.

Далі визначимо умови, при яких моделі M відповідає $solves(\sigma, d, s(t))$, (далі – $solves(j, d, s)$, тобто умови, при яких a – план, що виконує мережу завдань d (що починається зі стану s) у M . Спочатку розглянемо випадок, коли d елементарна.

Нехай M – модель, $d = [(n_1 : \alpha_1) \dots (n_{m'} : \alpha_{m'}), \varphi]$ – мережа основних елементарних тактичних завдань, s_0 – вихідний стан й $\sigma = f_1(c_{11}, \dots, c_{1k_1}), \dots, f_m(c_{m_1}, \dots, c_{mk_m})$ – план, здійснений у стані s_0 .

Тоді проміжні стани $s_i = T_M(f_i c_{i1}, \dots, c_{ik_i}, s_{i-1})$ для $i = 1 \dots m$, визначені.

Нехай π – функція узгодження d й σ , що однозначно відображає $\{1, \dots, m\}$ на $\{1, \dots, m'\}$ так, що для будь-яких $\pi(i) = j, \alpha_i = do[f_j(c_{j1}, \dots, c_{jk_j})]$. Тоді, функція узгодження π визначає загальний порядок виконання завдань.

Моделі M відповідає $solves(a, d, s)$, якщо $m = m'$, і існує таке узгодження π , при якому формула обмежень φ дорівнює *true*. Тоді формула обмежень φ визначається в такий спосіб:

- $(c_i = c_j) = true$, якщо c_i та c_j , – той самий символ константи;
- $first [n_i, n_j, \dots]$ відповідає $\min \{\pi(i), \pi(j), \dots\}$;
- $last [n_i, n_j, \dots]$ відповідає $\max \{\pi(i), \pi(j), \dots\}$;
- $first [n_i, n_j, \dots] = \{\pi(i), \pi(j)\} \wedge last [n_i, n_j] = \{\pi(j)\} \rightarrow \pi(i) < \pi(j)$;
- $last [n_i, n_j, \dots] = \{\pi(i), \pi(j)\} \wedge first [n_i, n_j] = \{\pi(j)\} \rightarrow \pi(i) > \pi(j)$;

Для цільових завдань:

- $(n_i < n_j) = true$, якщо $\pi(i) < \pi(j) \wedge l_j = false$ для всіх $s_k, \pi(i) \leq k < \pi(j)$;
- $(n_i \leq n_j) = true$, якщо $\pi(i) < \pi(j) \wedge l_j = false$ в $s_{\pi_i} \wedge \exists s_k, k \wedge \pi(i)$, для яких $l_i = true$;

- $(n_i \in n_j) = true$, якщо $\pi(i) < \pi(j) \wedge l_j = true$ у $s_{\pi(i)} \wedge l_i = true$ для всіх $S_k, k < \pi(i)$;
- $(l, n_i) = true, _если _l = true _в _s_{\pi(i)-1}$;
- $(n_i, l) = true, _если _l = true _в _s_{\pi(i)}$;
- логічні оператори \neg, \wedge, \vee інтерпретуються як у логіку предикатів.

Нехай d – мережа тактичних завдань, що містить, можливо, неелементарні тактичні завдання. Моделі M задовольняє $solves(\sigma, d, s(t))$, якщо для якоїсь $d' \in T_M(d)$, M задовольняє $solves(\sigma, d', s(t))$.

Для того, щоб метод (α, d) відповідав даній моделі M , план для d не тільки повинен бути й планом для α , але й будь-який план для мережі завдань tn , що містить d , повинен бути планом для мережі завдань, отриманої зі tn шляхом заміни d на α [130]. Доказ даного твердження приводиться там же.

Модель M задовольняє області планування $D = \langle Op, Me \rangle$, якщо моделі M відповідають всі оператори в Op і методи в Me .

План σ вирішує завдання планування $P = \langle d, D(t) \rangle$, якщо будь-якої моделі, задовольняючої D , відповідає $solves(\sigma, d, s(t))$.

При знаходженні плану σ , що вирішує завдання планування оперативних дій $P = \langle d, D(t) \rangle$ можливі два варіанти:

1. Нехай d – елементарна мережа тактичних завдань (тобто мережа, що містить тільки елементарні тактичні операції) і $S(t)$ – вихідний стан оперативної обстановки, тоді план $\sigma \in$ розширенням d в $S(t)$ і позначається як $\sigma \in comp(d, D(t))$. Якщо план σ виконаємо, (тобто передумови кожної дії в σ задоволені) і відповідає загальному порядку виконання елементарних тактичних завдань в d , з урахуванням обмежень d , то для неелементарної мережі завдань d має місце $comp(d, D(t)) = 0$.

2. Нехай d – неелементарна мережа тактичних завдань, що містить неелементарне тактичне завдання $\{n : \alpha\}$; $m = (\alpha', d')$ – метод й θ – уніфікатор для $\alpha _u _ \alpha'$, тоді $reduce(d, n, m)$ визначається як мережа завдань, отримана з d^θ шляхом заміни $(n : a)^\theta$ на вузли завдання d'^θ , змінюючи при цьому формулу обмежень φ для d'^θ на φ' (так само, як для $compose$), і включаючи формулу обмежень d'^θ . Позначимо множину редукцій d як $red(d, D(t))$. Редукція має на увазі формалізацію декомпозиції завдань.

σ є планом для елементарної мережі завдань d у вихідному стані I, якщо $\sigma \in \text{comp}(d, D(t))$; σ є планом для неелементарної мережі завдань d у вихідному стані I, якщо σ є планом для редукції $d' \in \text{red}(d, D(t))$ у вихідному стані I.

Множина планів $\text{sol}(d, D(t))$, що вирішують деяке завдання планування $P = \langle d, D(t) \rangle$, визначається як:

$$\text{sol}_I(d, D(t)) = \text{comp}(d, D(t)),$$

$$\text{sol}_{n+i}(d, D(t)) = \text{sol}_n(d, D(t)) \cup_{d' \in \text{red}(d, D(t))} \text{sol}_n(d', D(t)),$$

$$\text{sol}(d, D(t)) = \bigcup_{n < \omega} \text{sol}_n(d, D(t)), \text{ де}$$

$\text{sol}_n(d, D(t))$ – множина планів, яку сформовано за n кроків

$\text{sol}(d, D(t))$ – множина планів, що може бути сформована за будь-яке кінцеве число кроків.

Уніфікатори для завдань (цілей) α і α' визначається в такий спосіб: якщо для завдань $\alpha \in \{\text{achieve}[\text{result}], \text{provide}[l, \text{flag}], \text{do}[f(x_1, \dots, x_k)],$

$$\text{perform}[t(x_1, \dots, x_k)]\} \text{ й } \alpha' \in \{\text{achieve}[\text{result}'] \text{ provide}[l', \text{flag}'], \text{do}[f(y_1, \dots, y_k)],$$

$$\text{perform}[t(y_1, \dots, y_k)]\} \text{ існує така підстановка } \theta, \text{ що } (l^\theta = l' \theta \text{ й } \text{flag} = \text{flag}'), \text{ result}^\theta = \text{result}'^\theta, f(x_1\theta, \dots, x_k\theta) = f(y_1\theta, \dots, y_k\theta) \text{ або } t(x_1\theta, \dots, x_k\theta) = t(y_1\theta, \dots, y_k\theta),$$

відповідно, α і α' називаються уніфікованими, тобто $\alpha \theta = \alpha' \theta$, а θ – уніфікатором.

У випадку, якщо існує множина завдань $\alpha'_i \in A$, для яких $\alpha \theta = \alpha'_i$, то для рішення завдання знаходження найближчої до α' мети в A пропонується вирішувати за допомогою алгоритму AASM.

Використовуючи викладені вище формалізми, ми можемо описати процедуру ІСП ОД у такий спосіб (див. рис. 3.7). Очевидно, що дана процедура ІСП відбиває визначення $\text{sol}(d, D(t))$, крім кроків 5 й 6, що відповідає критиці. Як відзначено вище, планувальники звичайно використовують критику для виявлення й дозволяння взаємодій між завданнями (виражену у вигляді додаткових обмежень) у мережах завдань вищих рівнів, перед тим, як всі під завдання будуть скорочені до елементарних завдань. Усуненням деяких правил упорядкування завдань і

зв'язування змінних, ведучих до тупикових віток, критика дозволяє скоротити простір пошуку. У нашому формалізмі, це завдання вирішується деякою функцією τ , параметром якої є початковий стан $S(t)$, мережа завдань d і предметна область $D(t)$. Результат функції τ – деяка множина мереж завдань. Кожен елемент мережі завдань – кандидат на дозвіл деяких конфліктів в d .

Необхідно вказати на обмеження в τ :

1. Якщо $d' \in \tau(d, D(t))$, то $sol(d', D(t)) \subseteq sol(d, D(t))$. Т. е., будь-який план для d' повинен бути й планом для d , гарантуючи несуперечність.

2. Якщо $\sigma \in sol_k(d, D(t))$ для k , то існує $d' \sigma \in (d, D(t))$, такий, що $\sigma \in sol(d, D(t))$.

Для будь-якого плану, для d вірно те, що існує план для деякого елемента $d' \sigma \in \tau(d, D(t))$. Додатково, якщо рішення для d не містить більше k розширень, то воно є рішенням для d' . Ця остання умова гарантує, що τ не створює нескінченних циклів, скасовуючи попередні розширення.

3.3.4 Рекомендації із застосування правил адаптації прецедентів

У загальному випадку, як треба з алгоритму, сформований тактичний план може включати неелементарні завдання, редукція яких неможлива (тобто метод рішення їх не знайдений). Однак і знайдені методи рішення в багатьох випадках вимагають адаптації до поточної ситуації, що складається в зоні ЧС. Оскільки для кожного типового випадку потрібно вводити свої правила його адаптації, опис усієї множини таких правил виходить за рамки даної роботи (оскільки вони знаходяться емпірично). Однак загальні рекомендації з розробки правил адаптації прецедентів нами сформульовані.

Під *прецедентом* розуміємо заздалегідь збережену в базі знань структуру даних (α, d) , тобто метод рішення завдання α .

Правила адаптації прецедентів підрозділяються на наступні підгрупи:

- правила адаптації об'єктів ПрО;
- правила адаптації послідовності виконання бойових завдань;
- правила адаптації цілей і дій по їхній реалізації.

1. *Адаптація об'єктів ПрО* робиться на основі встановлення відповідності між реальними об'єктами ПрО та наявними в прецеденті:

1.1. Кожному об'єкту ПрО на основі його типу з варіанта прецеденту аварійної ситуації, що мала місце, ставиться у відповідність об'єкт(и) у поточній ситуації (або автоматично система припускає їхню наявність);

1.2. Визначаються однотипні об'єкти, тобто об'єкти ПрО одного класу (наприклад, гірничі виробки);

2. *Адаптація послідовності дій* виконання бойових завдань.

2.1. Послідовність цілей зберігається для поточної ситуації, крім наступних випадків:

2.1.1. Для досягнення певної мети не виконана необхідна умова. У цьому випадку дії по її реалізації не ініціюються;

2.1.2. На послідовність цілей впливає параметр тривалості їхнього досягнення, що був скоректований відповідно до поточної ситуації;

2.1.3. В поточній ситуації присутні фактори, що перешкоджають реалізації наміченого плану, і яких немає у використовуваному прецеденті. У цьому випадку в адаптуємо плані повинні бути передбачені дії, що нейтралізують вплив цих факторів;

2.1.4. У поточній ситуації немає факторів, що перешкоджають реалізації наміченого плану, і які присутні у використовуваному прецеденті. У цьому випадку в плані, що адаптується, повинно бути передбачене видалення відповідних дій, що нейтралізують вплив цих факторів;

2.1.5. Для однотипних об'єктів, що мають подібні властивості (у т.ч. пов'язані з об'єктом процесу й події), завдання дублюються (при цьому параметри дій, у тому числі й тривалість дій, можуть відрізнятися залежно від властивостей даних об'єктів).

3. *Адаптація цілей і дій по їхній реалізації.*

3.1. Структура цілей зберігається.

3.2. Значення параметра мети *тип мети* зберігається; а значення параметра *об'єкт ПрО* адаптується відповідно до правил адаптації об'єктів ПрО, що описані вище;

3.3. Адаптація значень параметрів ресурсів і тривалості виконання дій по досягненню цілей, робиться на підставі використання типових методик розрахунку сил і засобів. А також на основі прогнозних оцінок. Прогнозні оцінки можуть бути отримані кореляційно-регресійним аналізом даних із прецедентів, застосування якого можливо тільки за умови достатньої кількості даних для побудови депресійного рівняння.

Автоматична адаптація прецедентів застосовна, коли відмінність між поточною ситуацією й прецедентом складається тільки в наступному:

1. Різниці між значеннями атрибутів однотипних об'єктів ПрО;
2. Різниці між кількістю однотипних об'єктів ПрО, пов'язаних із цілями й під цілями, план дій, по реалізації яких визначений;
3. У поточній ситуації існують фактори, що перешкоджають реалізації наміченого плану, але відсутні у використовуваному прецеденті;
4. У поточній ситуації немає факторів, що перешкоджає реалізації наміченого плану, але присутніх у використовуваному прецеденті.

На наступній схемі (рис. 3.7) більш докладно описані етапи знаходження методи-редукції для поточного завдання, дозволу конфліктів і повернення остаточного результату.

Відповідно до алгоритму ААСМ кроки 1 й 2 формально можна представити в такий спосіб:

Вхід: поточне завдання (ситуація) α_l .

Крок 1. Ідентифікація атрибутів поточного завдання (ситуації) α_l за допомогою присвоєння значень ключовим індексам:

$$\alpha_l : y_l = (y_{1l}, \dots, y_{Nl}) \in C = F_1 \times \dots \times F_N$$

Крок 2. Знаходження в базі знань ($\bar{C} = \{x_1, \dots, x_m\}, \bar{C} \subset C$) прецедентів

$$\alpha_i : x_i = (x_{1i}, \dots, x_{Ni}) \in \bar{C}, \text{ схожих з поточною ситуацією } \alpha_l, \text{ тобто що мають}$$

$$p_{ij} = q_{ij}, \text{ если } x_{ij} \geq y_j \text{ и } F_j = [0,1]$$

$$\min_{x_i \in \tilde{C}} |\delta(x_i, y) = (\sum w_{ij} d_j(x_{ij}, y_j)^p)^{1/p}|, \text{ де } w_{ij} = q_{ij}, \text{ если } x_{ij} < y_j \text{ и } F_j = [0,1]$$

$$p_{ij} = q_{ij}, \text{ если } F_j \text{ конечно}$$

Крок 3. Адаптація прецеденту, тобто модифікація варіанта рішення, представленого в прецеденті, для його узгодження з новою ситуацією за правилами, описаним у розділі 3.2.3.

Крок 4. корекція отриманого рішення автоматично з використанням критики або за участю користувача.

Вихід: Прецедент $\tilde{\alpha}_i$ близький поточної ситуації.

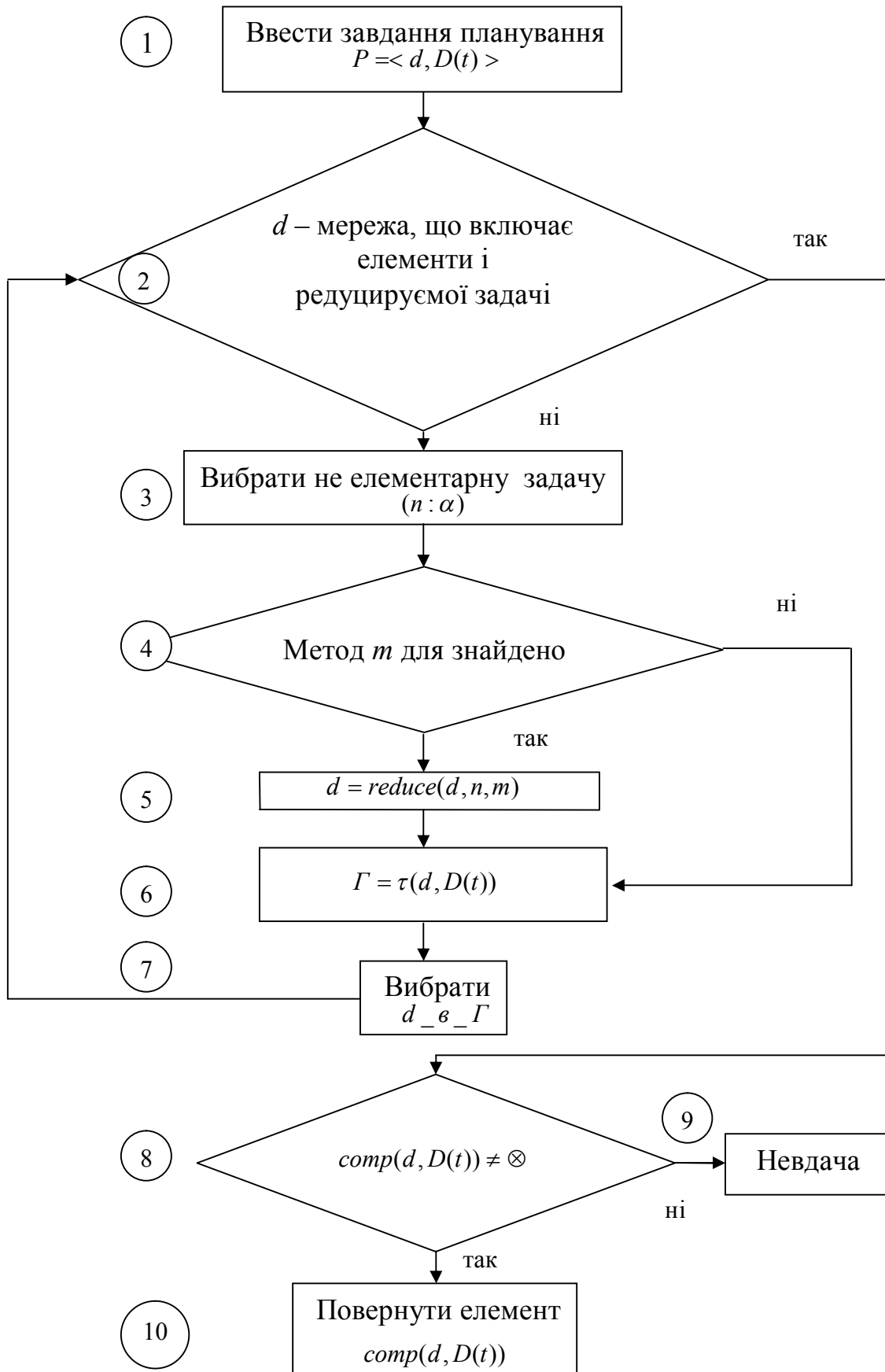


Рисунок 3.5 – Формальна інтерпретація алгоритму ІСП ОП

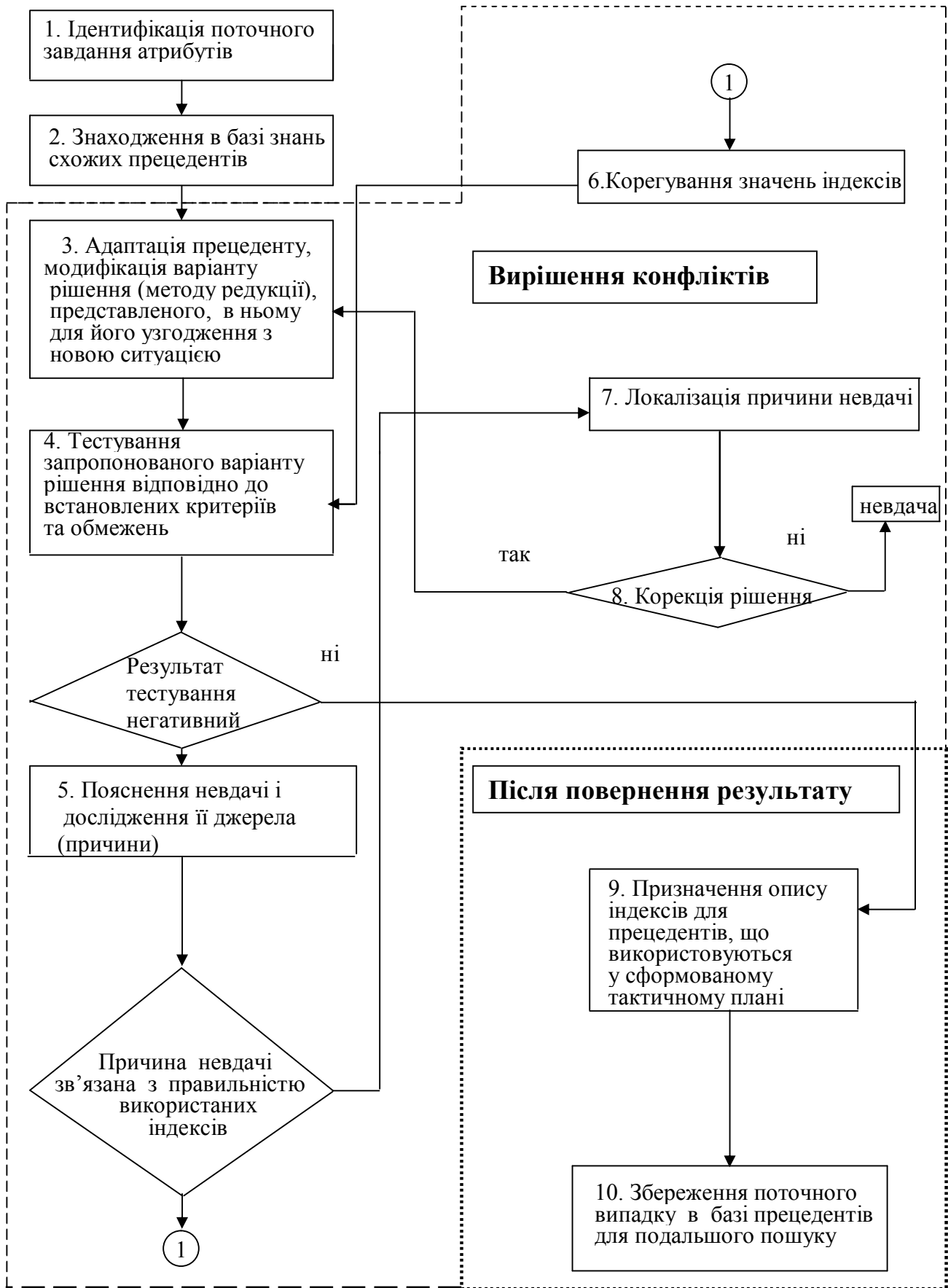


Рисунок 3.6 – Етапи знаходження методу-редукції для поточного завдання

4 ПРОДУКЦІЙНО-ФРЕЙМОВА МОДЕЛЬ ПОДАННЯ ЗНАНЬ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ НА ШАХТАХ

4.1 Основні поняття

Для подання знань у даній системі пропонується використати продукційно-фреймову структуру, що моделює статичні знання про предметну область, у вигляді значень слотів фреймів, що відбивають стан системи в певний момент часу, а також динамічні знання у вигляді процедур – продукцій, що відбивають переходи між станами системи. Переходи здійснюються у відповідності зі знаннями про причинно-наслідкові зв'язки між різними процесами й подіями, що відбуваються під час ліквідації аварій, а також про залежності між станом оперативної обстановки й прийнятих управлінських рішень.

Предметна область у пропонованій моделі піддається таксономічній декомпозиції на множина концептів, що представляються фреймами, за допомогою відносин спадкування. Ця декомпозиція предметної області може бути віднесена до статичних знань і залежно від складності вводить семантику, що, може мінятися або залишатися постійною в процесі виводу проектів рішень. У більшості систем множина фреймів описується в базі знань і залишається більш-менш постійним у процесі рішення, однак варто відрізнити такі знання (назвемо їх структурними F_{SS}) від множини атрибутів завдання, що відповідають робочій пам'яті й визначеними значеннями слотів всіх фреймів (множиною F_{SI} або станом робочої пам'яті). Таким чином, база знань складається зі структурних F_{SS} і процедурної (або динамічної) F_D складових. Робоча пам'ять складається з множин значень слотів F_{SI} і деякої структурної складової F_{SS2} .

Структура фрейму визначається в такий спосіб: (див. табл. 4.1).

Така внутрішня організація зберігається як для фреймів структур, так і для фреймів динамічних типів. З кожним слотом зв'язується тип значення, що

утримується в ньому, набори процедур демонів (виконуваних при присвоюванні слоту значення) і процедур запитів (виконуваних, коли необхідно довідатися значення слота). Також набір обмежень на множину допустимих значень (фасетні) (складні, вкладені) обмеження на діапазон значень, на належність визначеній множині значень, або обмеження загального виду, що представлені довільними логічними виразами).

Найважливішою властивістю теорії фреймів є запозичене з теорії семантичних мереж спадкування властивостей. І у фреймах, і в семантичних мережах спадкування відбувається по АКО-зв'язках (A-Kind-Of). Слот АКО вказує на фрейм більш високої ієрархії, звідки неявно успадковуються, тобто переносяться, значення аналогічних слотов. Так, тип фрейму "гірничий виробок з більшим або частим перебуванням великої кількості людей", у цьому випадку успадковується від фрейму "гірничий виробок". У свою чергу, від другого фрейму успадковується ряд інших і т.д. Тип фреймів, які не успадковуються ні від яких інших, називаються базовими. На рис. 4.1 представлений найпростіший приклад ієрархії фреймів із продукційними правилами, згрупованими у вигляді приєднаних процедур.

Таблиця 4.1 – Приклад структури фрейму "Гірничка виробка"

Имя слота	Умовне позначення	Тип слота	Значення слота		Приєднані процедури П1, П2
Гірничка виробка	meine	Посилання	Обмеження на значення	Значення	Передумова використання П1 – Ядро продукції П1
...	Посилання на тип "Об'єкт проблемного середовища"	...
Визначається адміністратором системи			Вводиться користувачем або визначається алгоритмом		Визначається адміністратором системи
...

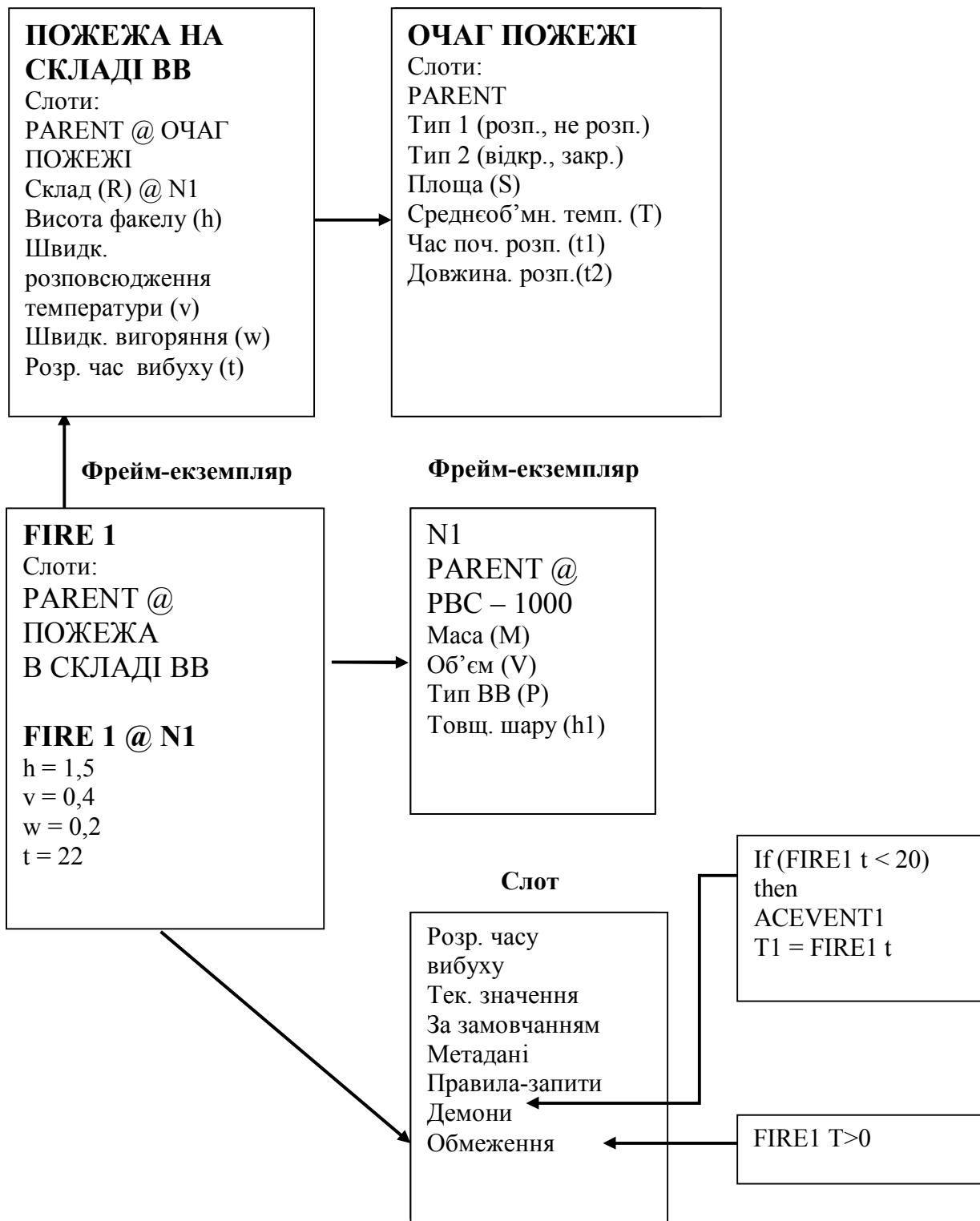


Рисунок 4.1 – Найпростіший приклад ієрархії фреймів із продукційними правилами, згрупованими у вигляді приєднаних процедур даної Про

Для моделювання стану оперативної обстановки визначимо множину базових фреймів прототипів.

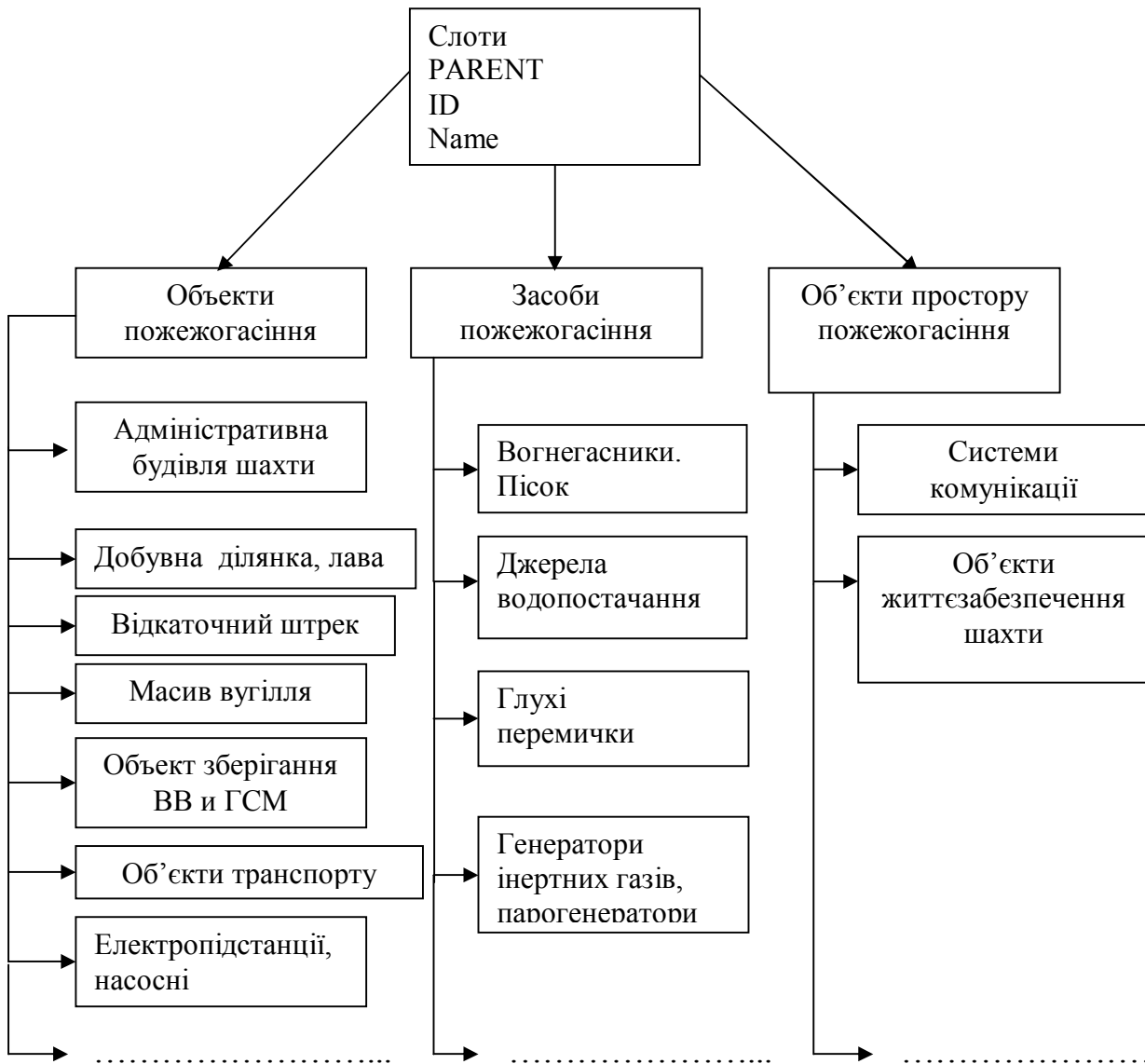


Рисунок 4.2 – Приклад ієрархії фреймів з базовим типом фрейму "Об'єкт Про"

4.1.1 Продукційно-фреймова модель підсистеми генерації проектів управлінських рішень

Розробка пакету програм визначення небезпечних зон в гірничих виробках при різних видах аварій, маршрутів евакуації людей і руху гірничорятувальних частин базується на концептуальній схемі продукційно-фреймової моделі подання знань Про, що представлена у вигляді набору класів, реалізованих на будь-якій об'єктній мові (Delphi, C++). Для побудови моделі використалися елементи мови

модельовання UML [136]. Основні елементи ієрархії інтерфейсів і класів наведені на рис. 4.3.

Всі класи неявно успадковані від загального об'єкту TObject. Основними функціями цього об'єкта є функції створення й видалення екземплярів відповідних класів, у т.ч. екземплярів фреймів.

База знань підсистеми генерації управлінських рішень.

База знань структурно являє собою множину екземплярів класів, що забезпечують основну функціональність підсистеми. База знань складається з наступних складових частин:

1. Бібліотека типів даних (Type Library), що забезпечує підтримку динамічних типів даних, успадкованих від TAny. Основними типами даних, використаних в системі, є числовий (цілий int або із плаваючою крапкою float), логічний (boolean), строковий (String), листовий (TList), що містить довільну кількість елементів будь-якого типу, у тому числі листового, і посилальний (TRef), що містить посилання на фрейм або слот. Бібліотека може розширюватися іншими типами даних (наприклад, текстовим, шаблоновим та ін. для генерації оперативного ПЛА) шляхом реалізації відповідних класів, успадкованих від базового батьківського класу Tany (див. рис. 4.5).

2. Батьківський клас TAny визначає незалежні від типів операції додавання (add), приналежності (in), операції порівняння (equal, is та ін.) і т.д. Успадковані від TAny класи повинні перевизначати частину цих операцій відповідно до реалізованого типу.

3. Бібліотека виразів (Expression Library) забезпечує підтримку виразів.

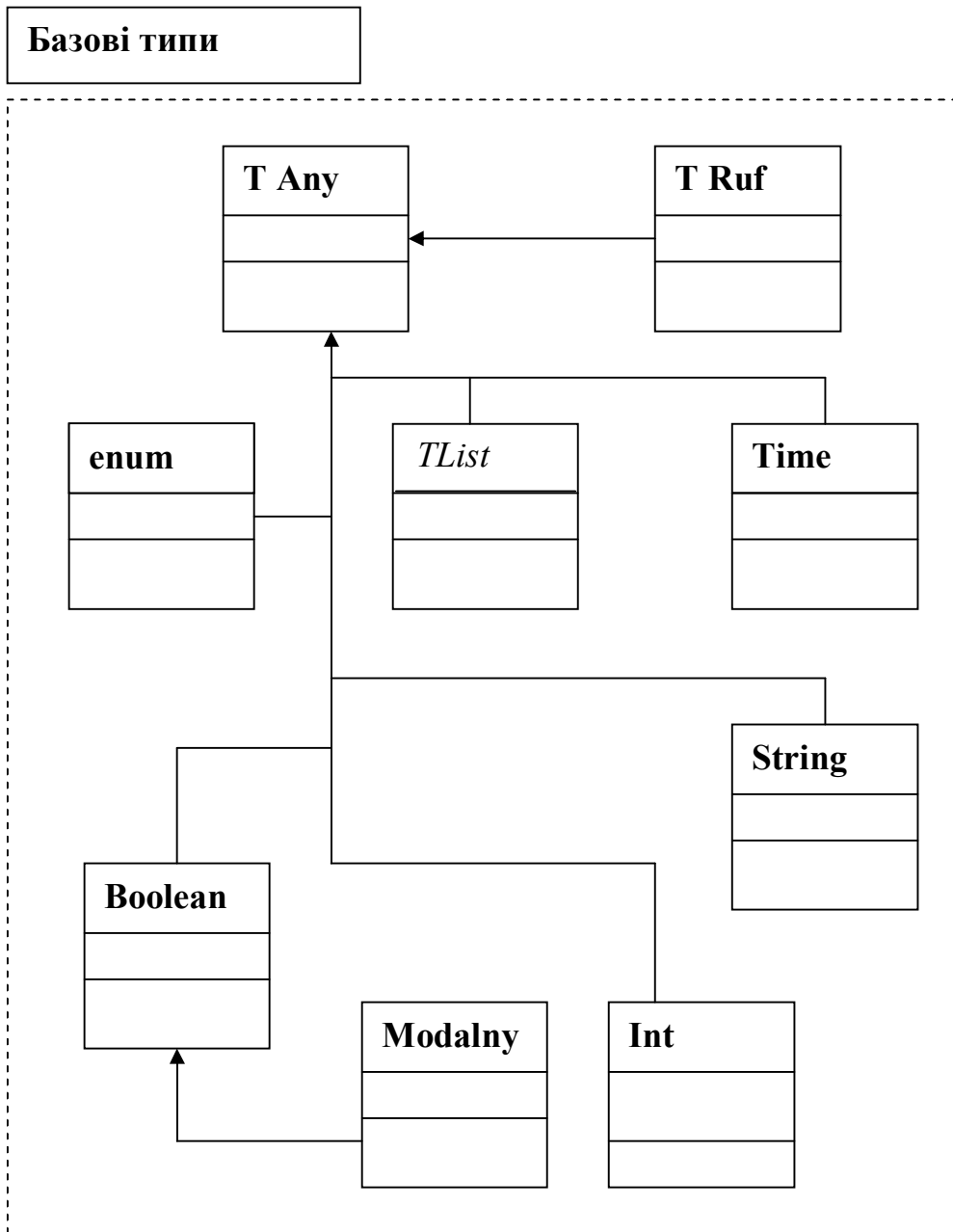
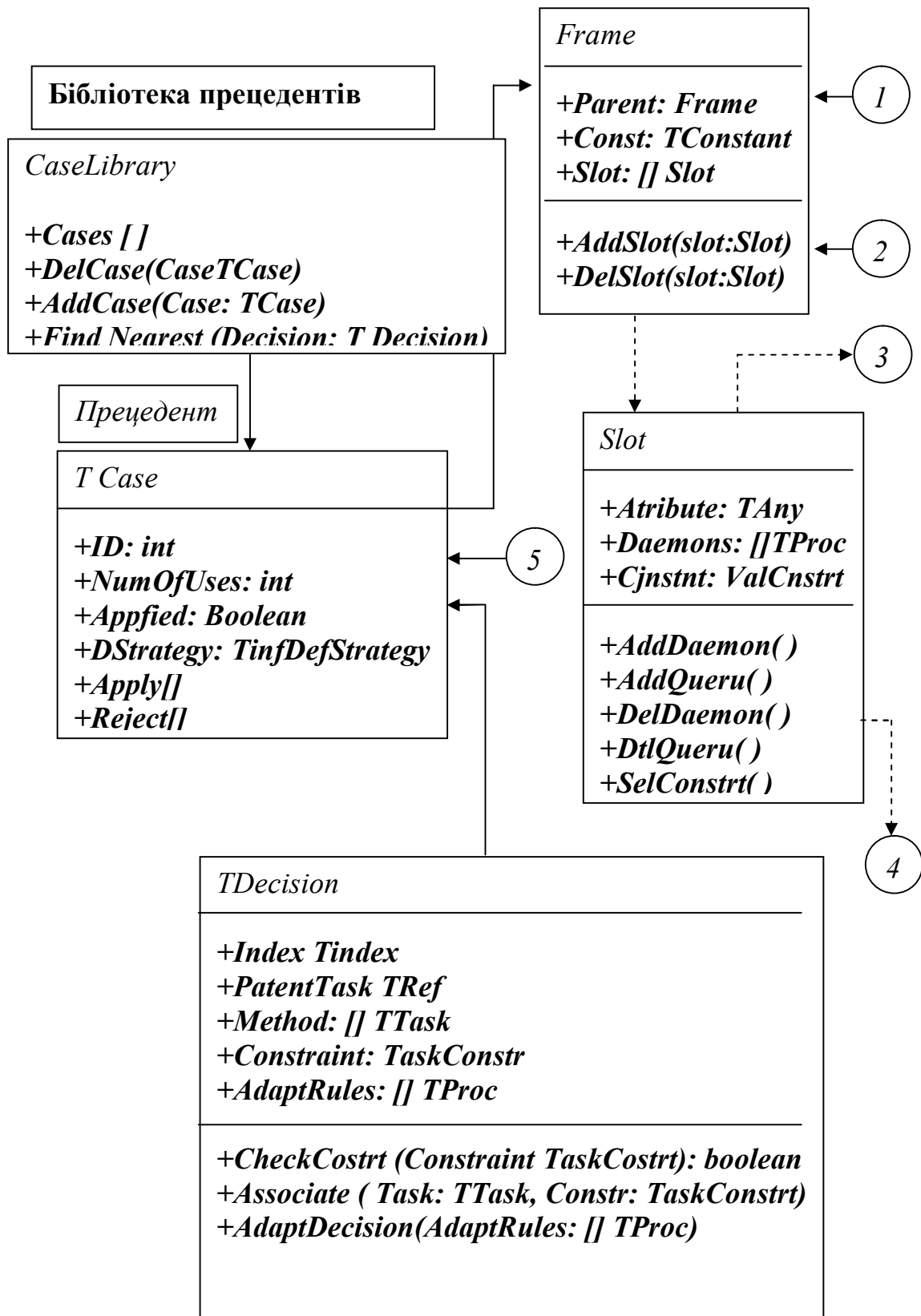
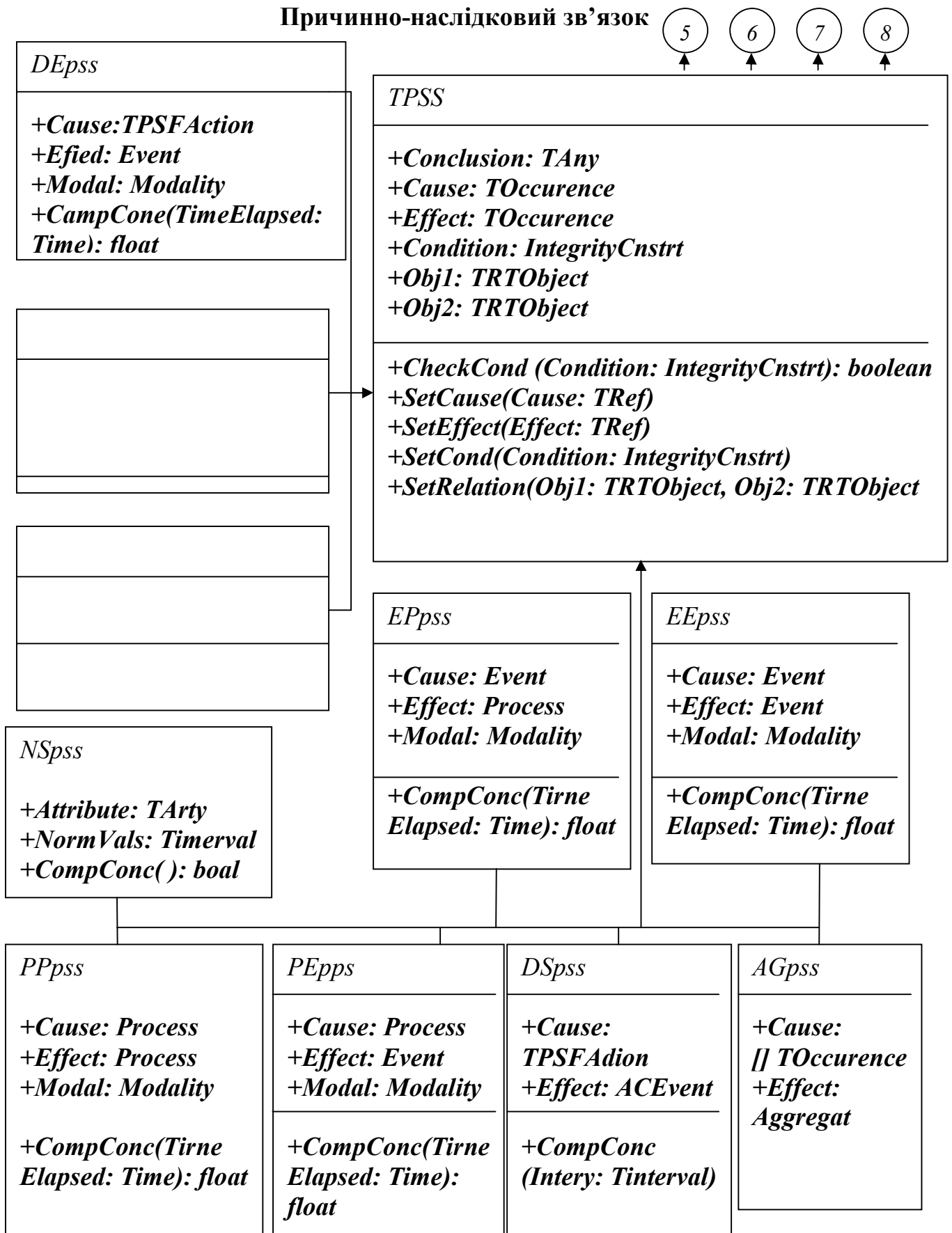


Рисунок 4.3 – Діаграма класів, використовуваних у продукційно-фреймовій моделі подання знань Про

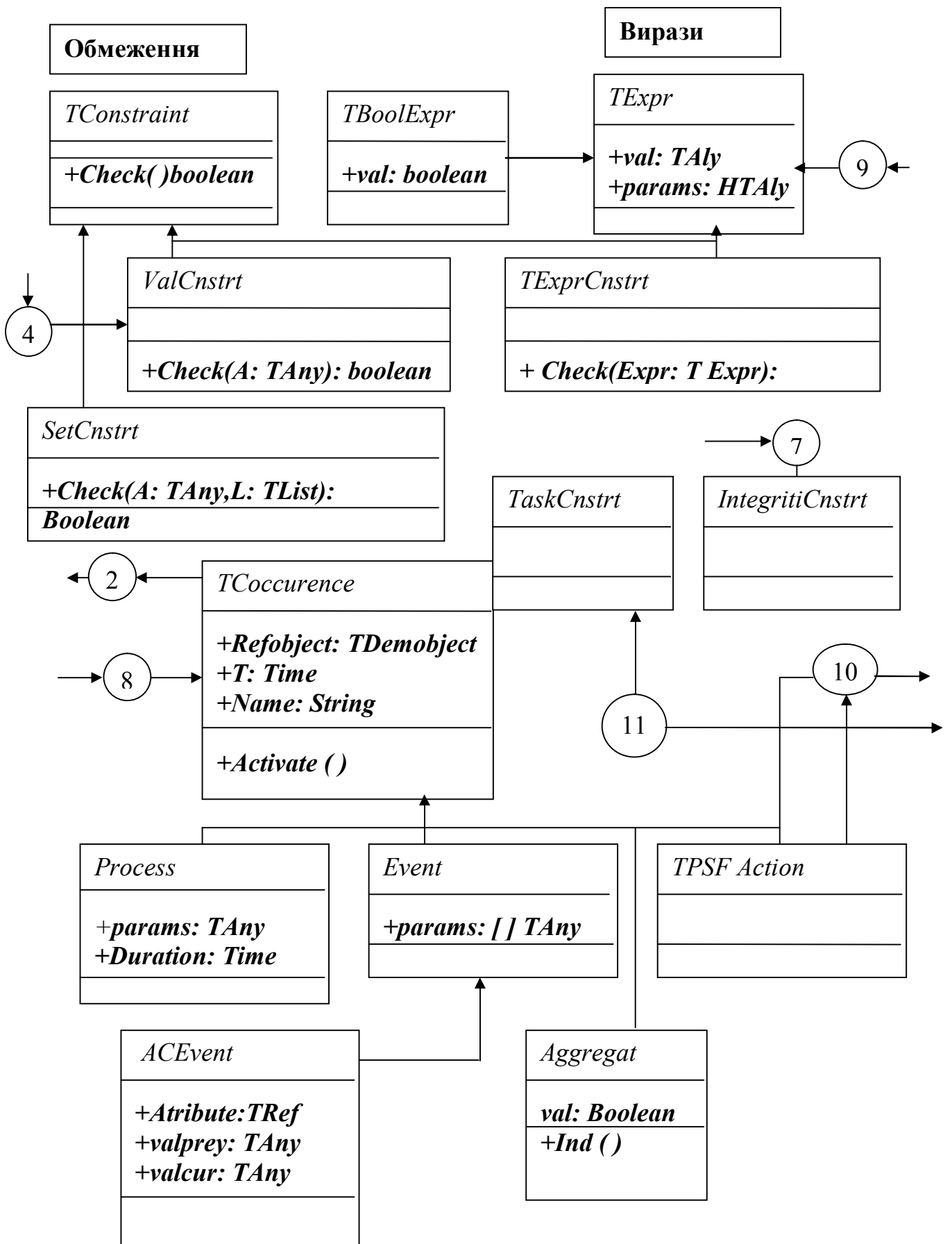


Продовження рис. 4.3

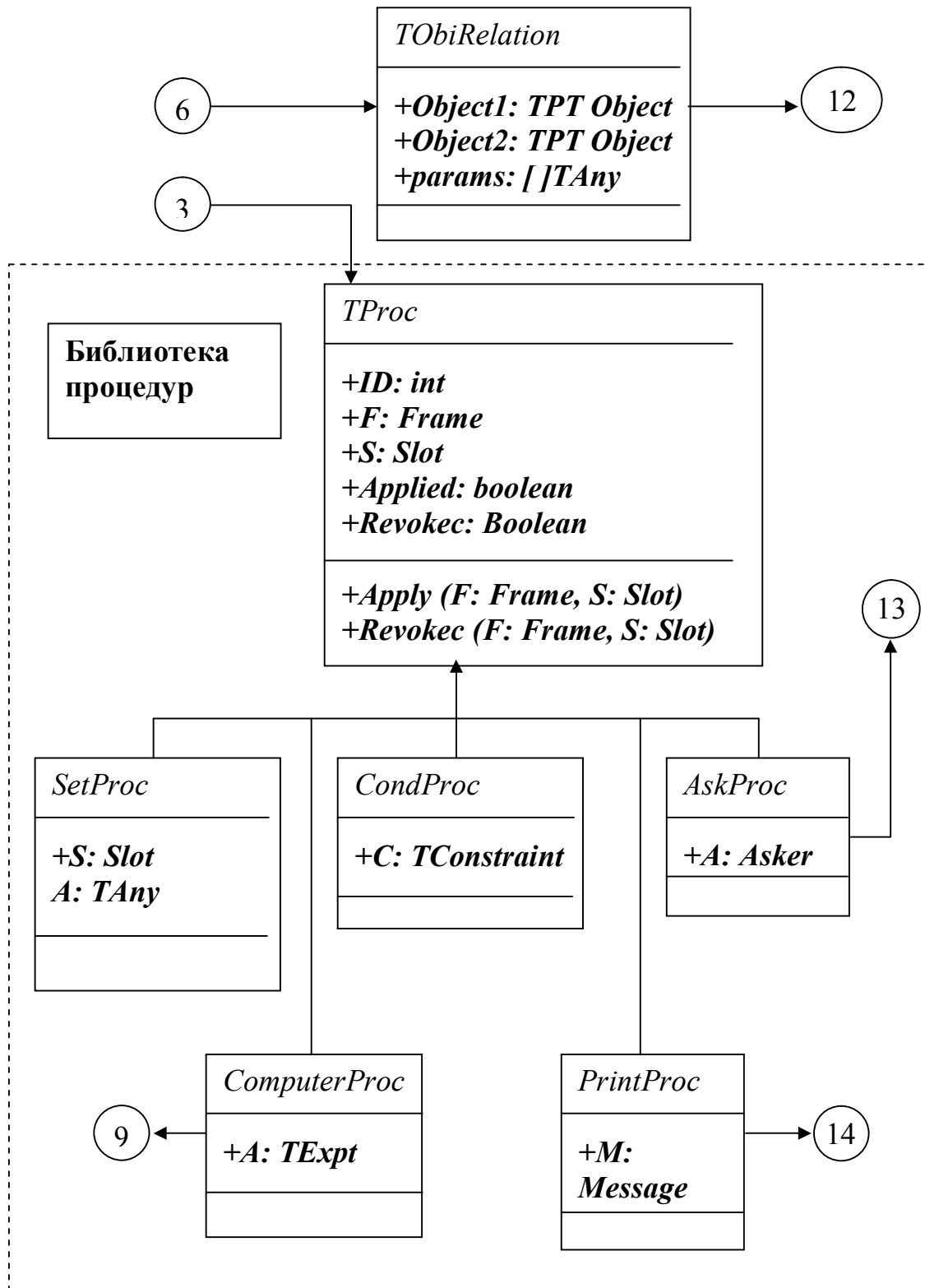
Причинно-наслідковий зв'язок



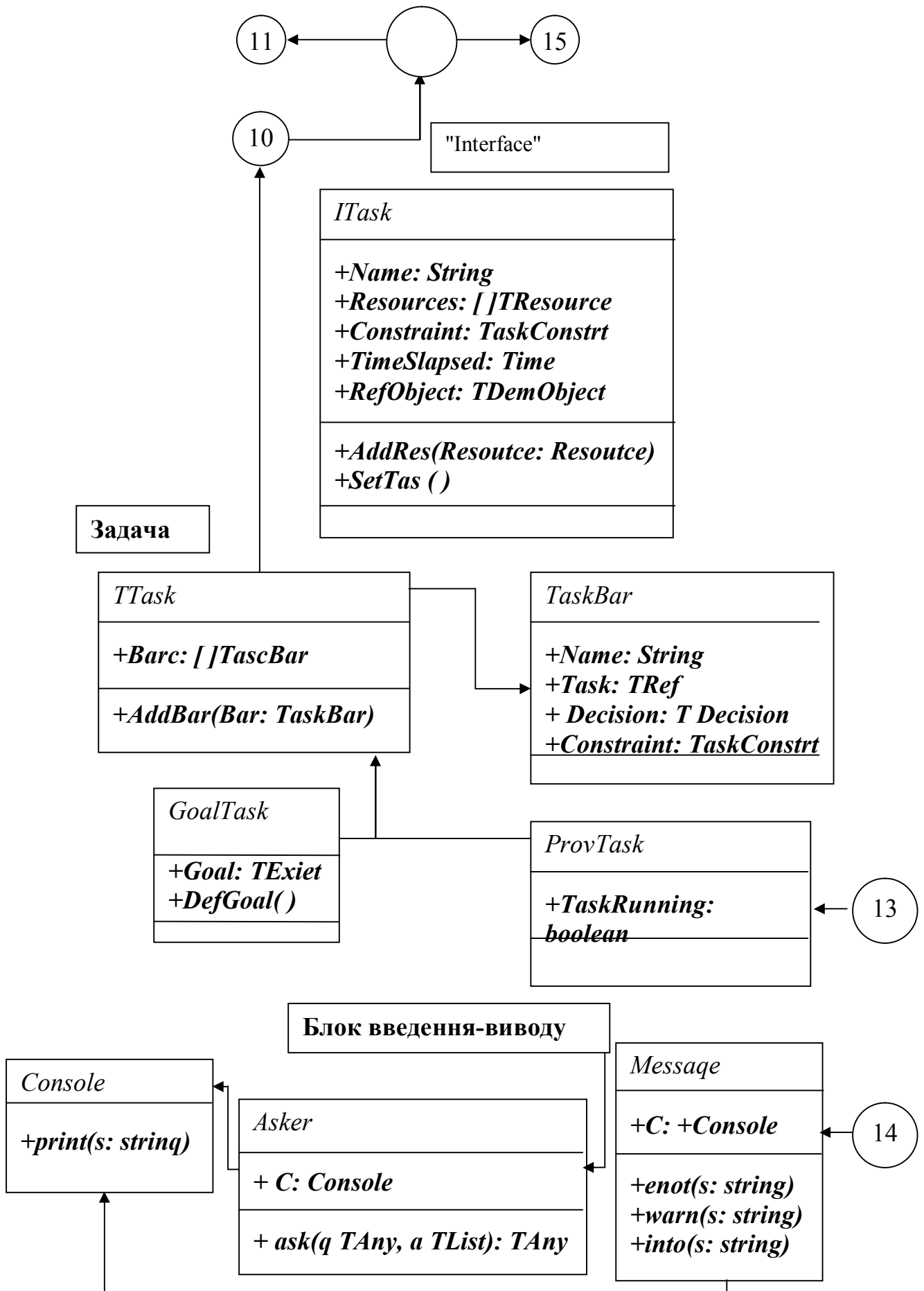
Продовження рис. 4.3



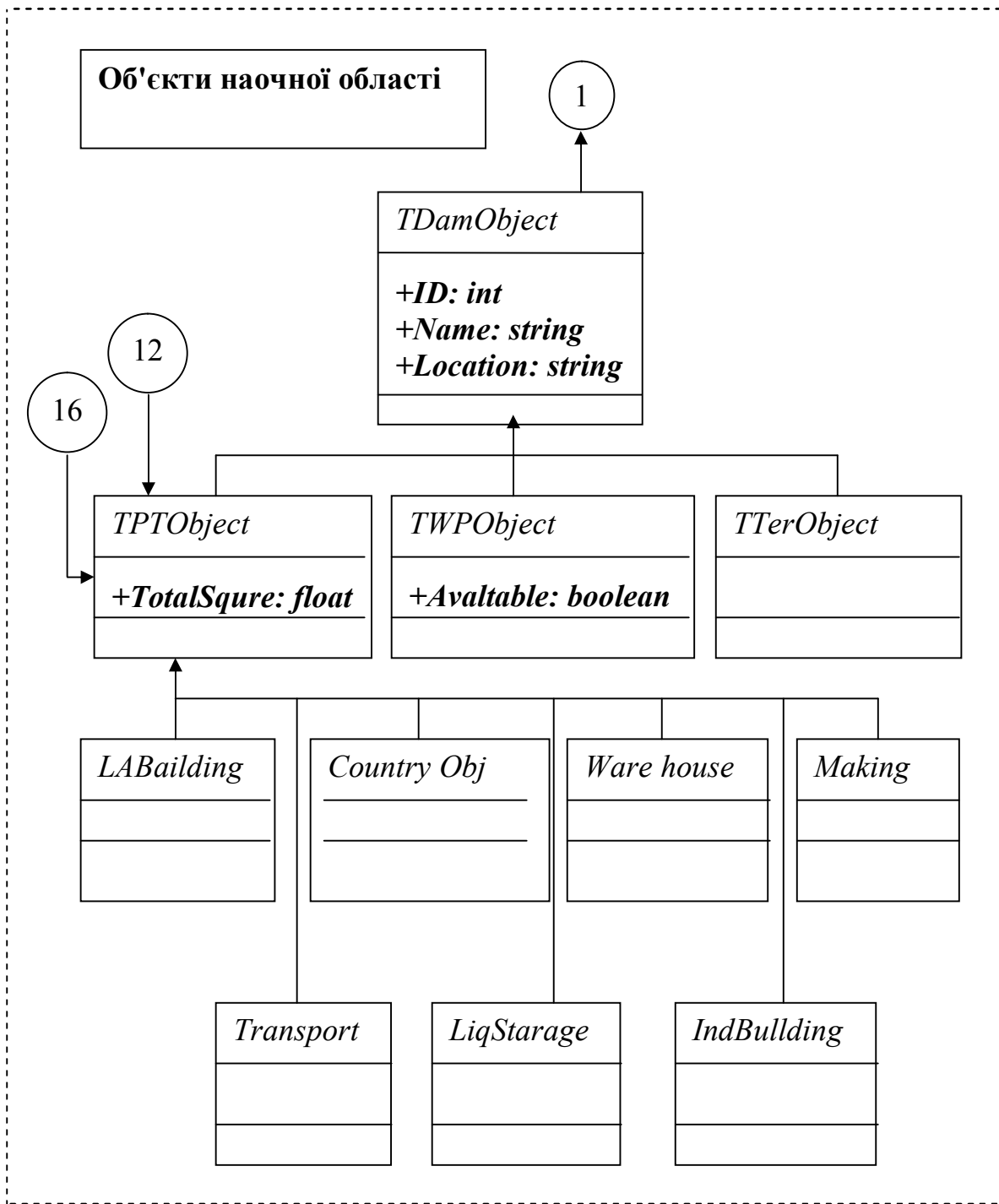
Продовження рис. 4.3.



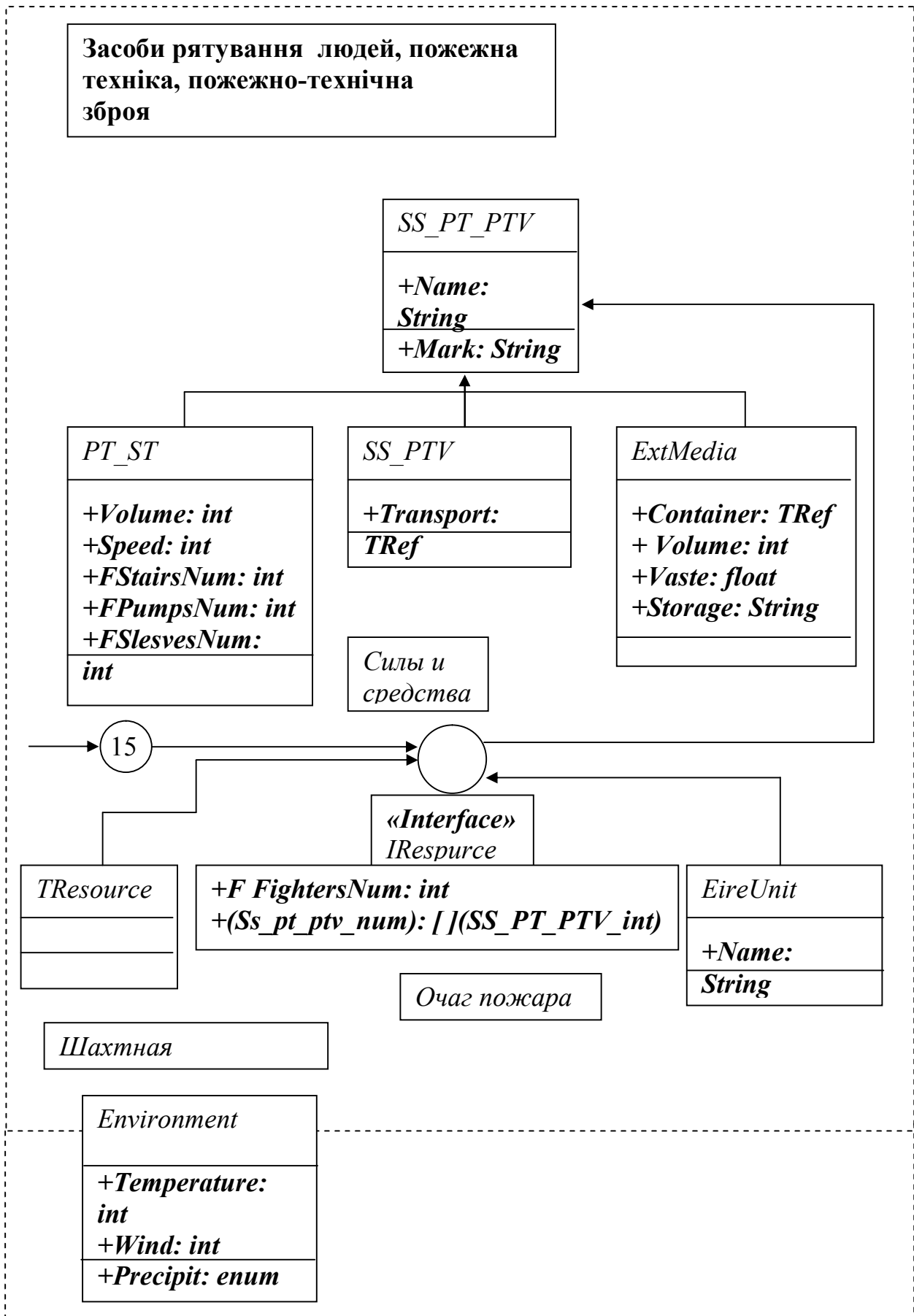
Продовження рис. 4.3



Продовження рис. 4.3



Продовження рис. 4.3



Продовження рис. 4.3

При поданні правил, приєднаних процедур і багатьох інших елементів ми зіштовхуємося з необхідністю представляти довільні вираз відповідно до бібліотеки типів. Базовим класом для подання виражень є клас `Expr`, що визначає метод `compute ()` для обчислення значення вираз. Клас `TrueExpr`, відповідно, представляє вирази, значення яких є логічними. Вирази використовуються зокрема для подання обмежень `TConstraints`.

Бібліотека процедур і демонів (`Procedures Library`) – надає набір стандартних "дій", які можуть виступати як процедури-запити й процедур-демонів й є основою для реалізації продукційного подання знань і логічного виводу. Включає також підтримку обмежень (`TConstraints`).

Фреймова бібліотека (`Frame Library`) – забезпечує підтримку фреймів різних типів, у тому числі для інтеграції з довільними класами й для підтримки логічного виводу. Підтримує функції створення й додавання фреймів до моделі, а також маніпуляції зі слотами фрейму, включаючи запит значення, що ініціює логічний вивід.

Бібліотека прецедентів (`Case Library`) – забезпечує підтримку процесу керування прецедентами – додавання, видалення, індексація, пошук релевантних прецедентів. Від базового класу `TCase`, що реалізує загальні для всіх прецедентів атрибути (число випадків використання `NumOfUses`, застосований (так/немає) `Applied`) і операції (застосувати `Apply` і відхилити `Reject`), успадковується 2 класи прецедентів: `TDecision` й `TPSS`. Метод рішення бойового завдання `TDecision` має посилання на оперативне завдання верхнього рівня ієрархії завдань (див. 3 розділ `GoalTask`, множина завдань, що реалізує метод (`Method`) і обмеження на спосіб виконання цих завдань (`Constraints`), множина правил адаптації методу (`AdaptRules`) відповідно до обмежень, обумовлених поточною ситуацією. `TPSS` визначає клас причинно-наслідкових зв'язків, що мають причину `Cause`, наслідок `Effect`, обмеження цілісності (клас `IntegrityCnstrt`) (визначені в гл.2), висновок `Conclusion`, або умовна ймовірність настання наслідку в певному інтервалі часу, або знаходження деякого атрибута (наслідку) у деякому інтервалі значень. Причиною або наслідком можуть бути спадкоємці класу `TOccurrence`: процес `Process`, подія

Event, узагальнення Aggregat, дія ДВГРС TPSFAction (тобто виконання деякого завдання), зміна деякого атрибута ACEvent. Основною функцією фрейму класу TDecision є надання методу рішення завдання і його адаптація до поточної ситуації, а класу TPSS – визначення висновку для даного варіанта причинно-наслідкового зв'язку.

Бібліотека сутностей предметної області (Domain Entity Library) включає класи для подання сутностей і понять, що беруть участь в описі оперативної обстановки на пожежі. TDomObject є базовим класом в ієрархії класів, що представляють об'єкти гасіння пожежі (TPXObject), стаціонарні засоби гасіння пожежі (TWXObject) і простір об'єкта гасіння пожежі (TPrObject). Для пожежної техніки, засобів порятунку, гасіння пожежі й ПТВ базовим класом є SS_PT_PTV, що визначає тільки 2 атрибути: назва й марку відповідної одиниці. Від SS_PT_PTV успадковуються 3 класи: PT_ST (пожежна й спеціальна техніка), SS_PTV (засобу порятунку, ПТ і ПТВ), що має посилання на одиницю техніки - засіб доставки й ExtMedia (засоби гасіння вогню). Спадкоємці класу SS_PT_PTV беруть участь в описі ресурсів (IResource) (сил і засобів), задіяних для виконання бойових завдань (TTask).

Блок вводу-виводу відповідає за діалог з користувачем і включає 3 класи: Console, що визначає довільну форму вводу-виводу інформації на консоль, Message - форму виводу інформації у вигляді повідомлень різного типу (помилки error, попереджень warn, що інформують info), Asker - запити користувачеві.

4.1.2 Подання знань

Інструментарій використовує продукційно-фреймове подання знань, у якому статичні знання про предметну область представляється у вигляді фреймової ієрархії, а в якості динамічних знань про переходи між станами використовуються продукційні правила, згруповані навколо відповідних фреймів і слотів (див. мал. 4.2).

4.1.2.1 Подання статичних знань

Фрейм розглядається як набір слотів, кожний з яких може містити значення заздалегідь певного або довільного типу.

Кожен фрейм у процесі виконання представляється екземпляром деякого класу, успадкованого від `Frame`. Клас фрейму визначає те, яким чином буде формуватися значення слотів у процесі виводу.

Всі фрейми представляються класом `Frame`, що забезпечує зберігання значень слотів у пам'яті й зв'язування з ними процесу виводу за аналогією. З кожним слотом зв'язується тип значення, що утримується в ньому, набори процедур-демонів (виконуваних при присвоюванні слоту значення) і процедур-запитів (виконуваних, коли потрібно довідатися значення слота). А також набір обмежень (`constraints`) на множину припустимих значень (обмеження на діапазон значень змінних `ValConstraint`, на приналежність певній множині значень `SetConstraint`, або обмеження загального виду, представлені типом `TExprConstraint`).

Процедури-демони можуть, наприклад, виконувати присвоєння значення деякому слоту (`SetProc`), виконувати деяку процедуру умовно залежно від істинності логічного виразу (`CondProc`), виводу на екран (`PrintProc`). Процедури-запити повертають деяке значення як результат свого виконання. Бібліотека визначає процедури для обчислення виразу (`ComputeProc`), для запиту користувачеві (`AskProc`) і ін. Можливе визначення довільних процедур-демонів і процедур-запитів шляхом спадкування від відповідних класів.

Фрейми поєднуються в ієрархію спадкування, при цьому кожен фрейм має одного батька, на який вказує значення спеціального слота `parent`.

4.1.2.2 Продукційні правила й механізм виводу рішень

Процес виводу рішень заснований на алгоритмі, описаному в розділі 3. Кроки даного алгоритму безпосередньо виконуються продукційними правилами, які транслюються у відповідні процедури-запити, або процедури-демони, приєднані до

слотів, що зберігаються в лівій частині правил. Слоти, значення яких повинні бути запитані в користувача в процесі виводу рішень, забезпечуються відповідними екземплярами класу AskProc.

За замовчуванням, визначаються основні завдання для ДВГРС: "організувати рятувальні роботи (евакуацію людей із шахти)", "локалізувати вогнище пожежі", "захистити сусідній об'єкт", "запобігти вибуху (запалення)". Для цього відбувається ініціація й обчислення значень узагальнень логічного типу: "Існує небезпека вибуху"; "Людам загрожують небезпечні фактори пожежі": "Люди не можуть самостійно покинути небезпечні виробітки"; "Є небезпека поширення вогню й диму по шляхах евакуації", "Передбачається застосування небезпечних для життя людей речовин для гасіння вогню і сумішей", "Не забезпечена можливість ліквідації пожежі наявними силами й засобами", "Горіння не припинене", "Не вжито заходи по поновленню припинення горіння" і т.п. У випадку визначення основних завдань для поточної оперативної обстановки в бібліотеці прецедентів ініціюється пошук аналогічних випадків, у яких реалізується одна або кілька аналогічних завдань. Методом рішення такого завдання є частково впорядкована множина завдань більш низького рівня (див. розділ 3), реалізації яких задовольняють обмеженням у постановці вихідного основного завдання. Після знаходження методу класу TDecision можуть бути використані правила адаптації TAdaptRules даного рішення з урахуванням можливих перешкод (розбіжностей) (клас TTaskBar) даної ситуації із прецедентом. Результатом застосування даних правил завжди є ініціація пошуку методу рішення завдання TTask, пов'язаної з усуненням перешкоди TTaskBar. Таким чином, процес декомпозиції триває, поки існує можливість знаходження методів рішення завдань (TDecision).

Одночасно відбувається пошук прецедентів причинно-наслідкових зв'язків, що задовольняють заданим умовам, а також обмеженням цілісності (див. розділ 2). Якщо такі ПНЗ знаходяться, то визначаються значення їхніх висновків (умовні ймовірності). При цьому користувачеві надається право вибору прийняти або відхилити наслідки причинно-наслідкового зв'язку. Таким, чином, даний процес

впливає на стан робочої пам'яті (визначення поточної оперативної обстановки) і, відповідно, на пошук рішення.

4.2 Алгоритмічне забезпечення процесу придбання знань у досліджуваній предметній області

При формуванні баз знань загальноприйнятною є практика по застосуванню спеціалізованих редакторів знань. У такий редактор вводиться інформація про природу й структуру знань предметної області, яку передбачається вводити з його допомогою.

Онтологія сама є знанням. Вона також вимагає введення й подання в інтелектуальній системі (ІС), для того, щоб цими знаннями можна було скористатися. Це приводить до необхідності створення спеціалізованих редакторів онтології, за аналогією зі спеціалізованими редакторами знань.

Спеціалізований редактор онтології дозволяє експертові вводити знання в термінах досліджуваної предметної області. При цьому редактор забезпечує формулювання питань до експерта, допомагаючи йому, тим самим, визначити ті знання Про, які необхідні в цей момент. Отримані знання редактором формалізуються й представляються у вигляді, необхідному для їхнього подальшого використання. Редактор формує базу знань по онтології, інтерпретуючи правила, що зберігаються в ній, що породжені базою знань. Експерт бере участь у процесі, що породжує, дозволяючи уникнути невизначеності (нові знання, не присутні в онтології, виникають саме як результат дозволу експертом таких невизначеностей). При цьому множина варіантів дозволу невизначеностей обмежена умовами, що зберігаються в онтології, тому спеціалізований редактор онтології повинен забезпечувати контроль, щоб експерт не порушував цих умов. Кінцевим продуктом породження є база знань, у якій присутні частина знань із онтології, а також знання, отримані як результат дозволу невизначеностей, але вже не присутні знання про ті обмеження, які були внесені в онтологію.

Мета даного розділу – проілюструвати на прикладі, як використовується в редакторі знань побудована онтологія ПрО: "Автоматизована система підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах" забезпечує керування процесом придбання знань. Результати, отримані в даному розділі, створюють основу для розробки спеціалізованого редактора бази знань системи для підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій.

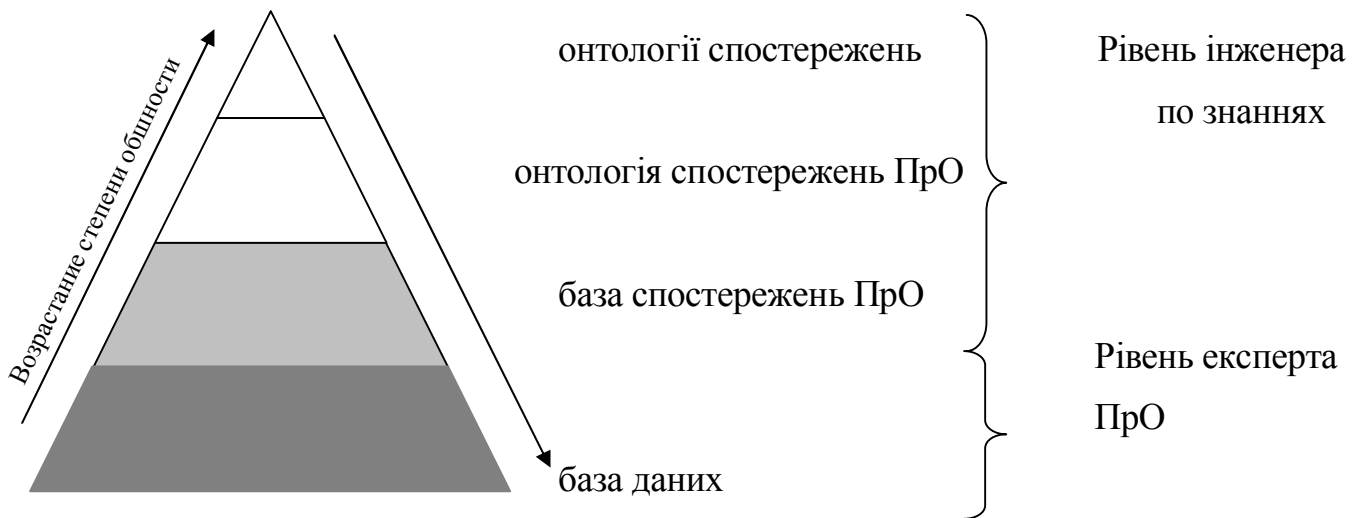


Рисунок 4.4 – Процес отримання знань ПрО

У цьому випадку для організації процесу породження знань пропонується використати універсальну модель їхнього придбання [73, 137]. На кожному з етапів (див. рис. 4.4) породження для організації інтелектуальної підтримки використається вихідна інформація про властивості знань, які отримані. А також знання, отримані на попередніх етапах.

Щоб вирішити завдання придбання знань ПрО необхідно описати онтологію спостережень, що дозволяє породити базу спостережень, використану разом з онтологією предметної області при описі бази знань і як модель діалогу. Отримана база спостережень повинна дозволяти породити базу даних, використовувану системою підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій.

На першому етапі породжується онтологія спостережень для конкретної предметної області, у якій визначаються, наприклад, способи завдання часу, простору й типи спостережень у даній предметній області.

На другому етапі по онтології спостережень предметної області породжується база спостережень. При цьому визначаються групи спостережень, найменування спостережень, групи характеристик і найменування характеристик кожного спостереження. Визначається наявність і тип залежності характеристики від часу й простору, а також спосіб завдання значення характеристики.

На третьому етапі отримана база спостережень може використатися для породження бази даних. При цьому визначаються значення необхідних користувачеві характеристик спостережень залежно від часу й простору, якщо така залежність визначена в базі спостережень.

4.3 Принципи побудови й архітектура АСППР для органів керування при ліквідації аварій

У рішенні проблеми інформаційного забезпечення органів керування при ліквідації аварій важливу роль грає вибір загальної концепції створення автоматизованої системи для інформаційної підтримки прийняття рішень. При цьому можуть бути запропоновані два варіанти концепції:

- створення "повної", або "глобальної", автоматизованої інформаційної системи, що має інформаційну базу, яка охоплює всі напрямки роботи посадових осіб органів керування;

- побудова автоматизованої системи підтримки прийняття рішень як сукупності логічно взаємозалежних функціональних інформаційних підсистем, що ґрунтуються на загальній концепції вдосконалювання інформаційного забезпечення для посадових осіб органів керування при ліквідації аварій.

Перший варіант, теоретично більше привабливий, але складний з погляду практичної реалізації.

Другий варіант є більше реалістичним з погляду його реалізації, і вибір саме цієї концепції обумовлений рядом об'єктивних факторів. Відзначимо найважливіші з них.

Створення повної автоматизованої системи підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій надзвичайно складно з погляду організації інформаційної бази й розробки відповідного програмного забезпечення. Крім того, для цього потрібно набагато більше часу і матеріальних витрат, чим при розробці локальних функціональних інформаційних підсистем. Слід також зазначити, що якщо впровадження повної автоматизованої системи можливо тільки після завершення всієї розробки, то концепція створення автоматизованої системи для підтримки прийняття рішень як сукупності функціональних інформаційних підсистем дозволяє вести впровадження послідовно, у міру розробки кожної конкретної підсистеми. У цьому випадку вже на стадії проектування формулюються загальні принципи організації баз даних кожної підсистеми, інформаційного обміну між ними й іншими взаємозв'язками функціональних підсистем.

1. Система повинна створюватися як сукупність функціональних інформаційних підсистем (модулів), об'єднаних загальної цілею функцією й максимально, що охоплює ті напрямки, роботи КАР, які вимагають автоматизованої підтримки.

2. При проектуванні системи повинні бути передбачені можливості подальшої модернізації одного або декількох її блоків без зміни інших.

3. Технічні засоби й програмне забезпечення завдань, розв'язуваних у системі, повинні створювати користувачам інформації максимальні зручності.

На закінчення відзначимо, що, хоча повністю врахувати всі сформульовані вище принципи складно, необхідно мати їх на увазі із самого початку всієї роботи зі створення автоматизованої системи підтримки прийняття рішень і прагнути закласти в наступних розробках, принаймні, можливість їхньої реалізації.

Принцип побудови АСППР як сукупності логічно взаємозалежних модулів, розділених по функціональній ознаці й реалізуючому рішенні основних завдань системи, забезпечується наступними функціональними підсистемами (рис. 4.5):

- підсистемою інформаційно-довідкової підтримки прийняття управлінських рішень;
- підсистемою інформаційно-аналітичної підтримки прийняття управлінських

рішень;

– підсистемою генерації проектів управлінських рішень на основі прецедентів.

В АСППР також входить обслуговуюча підсистема – підсистема створення й коректування баз нормативно-довідкової інформації;

У розробленої автором автоматизованій системі інформаційної підтримки управлінських рішень при ліквідації аварій функціональні підсистеми АСППР реалізовані у вигляді відповідних функціональних комплексів (ФК) і функціональних завдань (ФЗ).

Підсистема інформаційно-довідкової підтримки прийняття управлінських рішень відповідає за автоматизацію підготовки довідкової й статистичної інформації, необхідної для прийняття КАР управлінських рішень, і складається з наступних ФЗ: "Оперативно-тактичні характеристики об'єктів керування і їхніх характеристик", "Сумісність речовин і матеріалів", "Характеристики й стан протипожежних систем на шахтах", "Тактико-технічні характеристики аварійно-рятувальної техніки ", ФЗ "Засобу гасіння", "Архів аварій на шахтах".



Рисунок 4.5 – Архітектура АСППР

Підсистема інформаційно-аналітичної підтримки прийняття управлінських рішень, використовуючи зміст баз даних (БД) всіх функціональних підсистем АСППР, дозволяє КАР проводити аналітичну обробку розрахункових даних функціональних завдань системи. Підсистема включає наступні ФК: «Типові розрахунки параметрів аварій», «Розрахунок сил і засобів, необхідних для ліквідації аварій».

4.4 Методика й основні проблеми проектування АСППР для керівників аварійно-рятувальних робіт з використанням методології СВР

У цей час процес створення й застосування програмних комплексів і баз даних інформаційних систем регламентується різними вітчизняними й закордонними стандартами й профілями життєвого циклу програмних засобів, серед яких необхідно відзначити стандарти ДЕРЖСТАНДАРТ 34-й й 19-й серій, РД 50-34.698-90, що визначають вимоги до розроблювальної документації, так і нові стандарти ДЕРЖСТАНДАРТ Р ІСО/МЭК 12207-99 і ДЕРЖСТАНДАРТ Р ІСО/МЭК 14764-2002, що визначають процеси життєвого циклу програмних засобів [138-142, 143].

Перераховані вище стандарти інформаційних систем і життєвого циклу програмних засобів, застосовні до проектів різного рівня й з різними характеристиками. Зворотною стороною такої універсальності є той факт, що ці документи не можна застосувати в тім виді "як вони є". Вони принципово не містять конкретні методи дій, тим більше заготовлі рішень або документації. У них описуються процеси життєвого циклу програмних засобів, але не конкретизуються в деталях методи рішення завдань, включених у ці процеси. Рішення такого типу пропонується приймати розроблювачам, що використовують той або інший стандарт і провідну адаптацію його до потреб конкретного проекту.

Результати проведених досліджень і практична робота зі створення АСППР КАР дозволяють розробити методику проектування АСППР КАР, що, зберігає класичну структуру процесу розробки інформаційної системи, містить технологічні

рішення реалізації окремих етапів аналітичного дослідження Про, проектування й створення АСППР КАР з використанням акумульованого в базі знань досвіду (прецедентів).

4.4.1 Етапи процесу розробки АСППР й їхній зміст

Весь цикл робіт зі створення АСППР КАР розбивається на три стадії, що перехрещуються:

- аналітичне дослідження предметної області;
- проектування системи;
- розробка системи.

У табл. 4.2 наведено мету і зміст робіт на кожному етапі.

4.4.2 Загальні зауваження за рішенням завдань етапу "Аналітичне дослідження предметної області"

Очевидно, що інформаційна підтримка управлінських рішень із використанням комп'ютерних технологій актуальна не тільки при гасінні пожеж, але взагалі при ліквідації наслідків техногенних аварій на шахтах (вибухах, раптових викидах породи й корисних копалин, викидах метану, обваленнях покрівлі гірничих виробок і т.п.).

Однак необхідно відзначити, що між керуванням аварійно-рятувальними підрозділами ДВГРС при ліквідації наслідків техногенних аварій існує наступна принципова різниця. Так, у процесі прийняття рішень при ліквідації пожеж критичним є фактор часу; питання достатності наявних сил і засобів актуальне тільки в певний момент. Оперативна обстановка при гасінні пожежі швидко міняється, створюючи необхідність постійного відновлення вихідних даних для наступної їхньої обробки на комп'ютері.

Таблиця 4.2 – Етапи виконання робіт

Найменування етапу	Ціль етапу	Основні характеристики
Аналітичне дослідження ПрО	Визначення й формулювання детальних вимог до АСППР	<p>На даному етапі в результаті аналізу ПрО - системи оперативного керування, для якої розробляється АСППР, описуються елементи її основної діяльності, а саме:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Визначаються особливості процесу прийняття рішень у досліджуваній системі оперативного керування й інформаційні потреби КАР. - Визначаються основні завдання АСППР і виділяються найбільш пріоритетні завдання, що підлягають автоматизації, визначається їхнє місце в загальній структурі завдань. - Проводиться декомпозиція завдань по модулях і визначаються функції за допомогою яких вирішуються ці завдання. Класифікується й систематизується інформація для виділених завдань у цілому й кожної складової під задачі. <p>Вихідною інформацією для виконання даного етапу є інформація, отримана від експертів предметної області, спеціальної літератури й документальних джерел обстежуваної СОУ.</p> <p>Метод рішення: Функціональне моделювання</p> <p>Інструментальними засобами підтримки аналізу ПрО є CASE - засобу (BPwin, пакет Rational Rose й ін), що дозволяють візуально виділити й систематизувати інформацію, отриману на етапі аналізу. Нами пропонується використати досить простий і потужний засіб BPwin.</p> <p>Основні результати етапу:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Список й опис функцій АСППР. 2. Попередня концептуальна модель АСППР, що складається з опису предметної області, ресурсів і потоків даних
Проектування системи	Перетворення вимог у детальні специфікації АСППР	<p>На даному етапі виконуються наступні роботи:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Уточнюються й доповнюються вимоги до АСППР, які не були виявлені на попередньому етапі. Більш докладно розглядаються процеси АСППР. Аналізується й, при необхідності, коректується функціональна модель АСППР. Кожен процес розглядається детально. Розробляється формалізована концептуальна модель ПрО. При необхідності, для кожного елементарного процесу створюється частковий прототип екран, діалог, звіт.

Продовження табл. 4.2

Найменування етапу	Ціль етапу	Основні характеристики
		<p>2. Усуваються неясності й неоднозначності. Визначаються вимоги розмежування доступу до даних, набір необхідної документації по АСППР. Після детального визначення складу процесів оцінюється кількість функціональних елементів АСППР і приймається рішення про поділ АСППР на підсистеми.</p> <p>Метод рішення. На даному етапі широко використовуються CASE-засоби. Будуються онтологічні моделі, діаграми, виробляється детальний аналіз всіх сутностей і зв'язків.</p> <p>Основні результати етапу:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Формалізована концептуальна модель (онтологія) ПроО 2. Архітектура системи 3. Загальна інформаційна модель АСППР 4. Алгоритмічні моделі 5. Точно визначені інтерфейси між автономно розроблювальними підсистемами; побудовані прототипи екранів, звітів, діалогів 6. Розроблене інформаційне забезпечення АСППР: схеми й структури даних для всіх модулів АСППР 7. Документація за логічною структурою АСППР, генеровані скрипти для створення об'єктів БД <p>Відчужувані документи:</p> <p>Загальний Опис Проекту, що містить детальний опис архітектури АСППР із погляду функціональної структури, інформаційної структури, потоків даних. Зовнішня функціональна специфікація, що відбиває питання реалізації проектованої АСППР із застосуванням конкретних інструментів розробки (Рівень "інженерних рішень" АСППР "як буде") Внутрішня функціональна специфікація опис форматів даних, алгоритмів програм, особливостей інтерфейсу АСППР - вимоги до АСППР із погляду програміста.</p>

Продовження табл. 4.2

Найменування етапу	Ціль етапу	Основні характеристики
Розробка системи	Створення й тестування додатків АСППР	<p>На основі моделей, отриманих на етапі проектування, проводиться розробка програмного, інформаційного й методичного забезпечення, а саме: бази даних, користувальницьких додатків, документації.</p> <p>Часткове тестування АСППР здійснюється безпосередньо в процесі розробки.</p> <p>Метод рішення: Розробка програмного коду з використанням обраного інструментарію. Основні результати етапу: Працездатна АСППР.</p> <p>Відчужувані документи: Експлуатаційна документація, лістинги програм, файли баз даних.</p>
Передача системи в експлуатацію	Запущена в промислову експлуатацію АСППР	<p>На даному етапі робиться навчання користувачів, робиться приймальне тестування (випробування) АСППР.</p> <p>Основні результати етапу: Готова АСППР, що задовольняє всім погодженим вимогам.</p> <p>Відчужувані документи: Акти прийому-передачі АСППР.</p>

Зазначені вище особливості предметної області повинні враховуватися при виборі методів й алгоритмів, використаних з метою інформаційної підтримки осіб приймаючих рішення. Так при проектуванні АСППР при ліквідації аварій на шахтах необхідними умовами є:

- можливість швидкого уведення в ЕОМ вихідних даних;
- можливість швидкої їхньої обробки ЕОМ і виводу результату.

Перша умова досягається частково за рахунок використання "шаблонних" діалогових форм уведення, припускаючи, що найчастіше зустрічаються "типові" ситуації, для яких потрібно уточнити лише деякі деталі, частково за рахунок використання проміжних обчислень, зроблених ЕОМ автоматично і що є вихідними даними за замовчуванням для наступних обчислень. Також тут важливо забезпечити «дружній, інтуїтивно зрозумілий» зручний інтерфейс. Друга умова досягається за рахунок використання відносно простих, не потребуючих великої кількості операцій, обчислень, а також за рахунок вибору швидкого компілятора для реалізації запропонованих моделей й алгоритмів (наприклад, компілятора Delphi).

Таким чином, при проектуванні АСППР при ліквідації наслідків техногенних аварій можуть бути використані ті ж технології, що й для інформаційної підтримки управлінських рішень керівників гасіння пожеж. Однак у цьому випадку в КАР є більше можливостей для використання, крім підсистем інформаційно-довідкової й розрахунково-аналітичної підтримки управлінських рішень, підсистеми для підготовки проектів сценаріїв ведення оперативних дій у конкретних ситуаціях.

4.4.3 Місце онтологічної моделі предметної області у взаємодії користувача з АСППР

Аналіз особливостей процесу прийняття рішень в АСППР при ліквідації аварій на шахтах показав, що доцільно:

- як основу для забезпечення інтелектуальної підтримки прийняття рішень посадовими особами органів керування при ліквідації аварій використати методи й

алгоритми на основі технології CBR, тобто формування варіантів управлінських рішень на основі наявних у базі знань схожих випадків. Основна перевага CBR головним чином полягає в тім, що при великому обсязі знань про ПрО, збережених у вигляді прецедентів і правил їхнього використання, для прийняття рішень не потрібно великого ланцюжка міркувань, перебору великої кількості правил виводу (як у системах, заснованих на логічному виводі рішень), а отже, менший час обчислень;

- розробляти інструменти автоматизованого формування проектів планів оперативних дій;

- повторно використати знання про стійкі причинно-наслідкові зв'язки між різними явищами й подіями, що мають місце при ліквідації аварій на шахтах (у практичній реалізації моделі причинно-наслідкових зв'язків автоматично можуть актуалізуватися ті причинно-наслідкові зв'язки, для яких визначена умовна ймовірність ~ 1).

Формалізована концептуальна модель (онтологія) ПрО дозволяє декларативним образом, що допускає повторне використання знань, описати предметну область, що відповідають словники типів, як обмежити використання цих даних, у припущенні розуміння того, що може бути виведене із цього опису.

Метою розробки онтології досліджуваної ПрО є:

- 1) використання онтології як засобу формалізації знань про причинно-наслідкові зв'язки, а також про загальні принципи прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах;

- 2) визначення класів для програмної системи АСППР;

- 3) компоненти бази знань АСППР.

При побудові онтології ПрО необхідно виділити структуру знань про ПрО, тобто ті складові онтології частини, які є логічними виразами концептуально різних аспектів модельованої дійсності. Наприклад, такими частинами в ПрО "Автоматизована система підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах" є:

- процес керування підрозділами ДВГРС при ліквідації аварій на шахтах;

- причинно-наслідкові зв'язки, що мають місце на аварії, що описують динаміку оперативної обстановки й впливають на процес керування при ліквідації аварій на шахті.

Місце онтології у взаємодії користувача з АСППР показано на рис. 4.6.

Інтелектуальна підтримка посадових осіб при ліквідації аварій полягає або в наданні йому варіантів управлінських рішень у вигляді плану оперативних дій для рішення деякої локальної проблеми. Або виконання основного завдання (у цьому випадку план буде складатися з більше укрупнених кроків), або в прямих звертаннях до бази знань АСППР для одержання доступу до збережених там прецедентів.

У кожному разі посередником між його запитом і базою знань, до якої він прямо або побічно звертається, є знання про те, у яких структурах й у яких відносинах між собою перебуває запитувана інформація, тобто онтологія.

Так, наприклад, онтологія "процес керування на пожежі" визначає значення, зміст і відносини термінів, що ставляться до прийняття управлінських рішень на аварії. Наприклад, таким, як "сили й засоби", "оперативні позиції" тощо. А також множина ситуацій, припустимих з погляду БУ ДВГРС .

Онтологія причинно-наслідкових зв'язків визначає ймовірні наслідки подій, процесів й явищ, що відбуваються в оперативній обстановці на аварії.

Побудована онтологія "Визначення тактичних цілей" охоплює тільки ту частину ПрО, що визначає загальні принципи ухвалення рішення на аварії, описані в БУ ДВГРС.

Відповідно, для охоплення всіх сторін діяльності органів керування повинні бути побудовані онтології, що враховують специфіку процесу керування для різних ПрО, особливості яких визначають цю специфіку. Ці онтології будуються по тому ж принципі й використовують терміни, уведені в метаонтології "Сутності" й онтології "Визначення тактичних цілей".

Як засіб онтологічного моделювання пропонується використати формальний апарат незбагачених систем логічних співвідношень [112, 113], що має таку перевагу, що, таким чином, можна представити досить складні взаємозалежності між термінами, що вводяться. Багатий семантичний базис запропонованого

формалізму дозволяє описати множину можливих ситуацій, що складаються в оперативній обстановці на аварії за допомогою введення в онтологію термінів, що мають високий рівень спільності, що не викривляють зміст виразів, що вводять, громіздкістю технічних деталей. Опис кожної реальної ситуації, перетворений до формального виду мовою систем логічних співвідношень, є рішенням такої системи. Це значить, що будь-які варіанти управлінських рішень, пропонованої АСППР, повинні бути підмножинами множини можливих ситуацій, формально подаваних онтологією ПрО, тобто рішенням деякої системи логічних співвідношень.

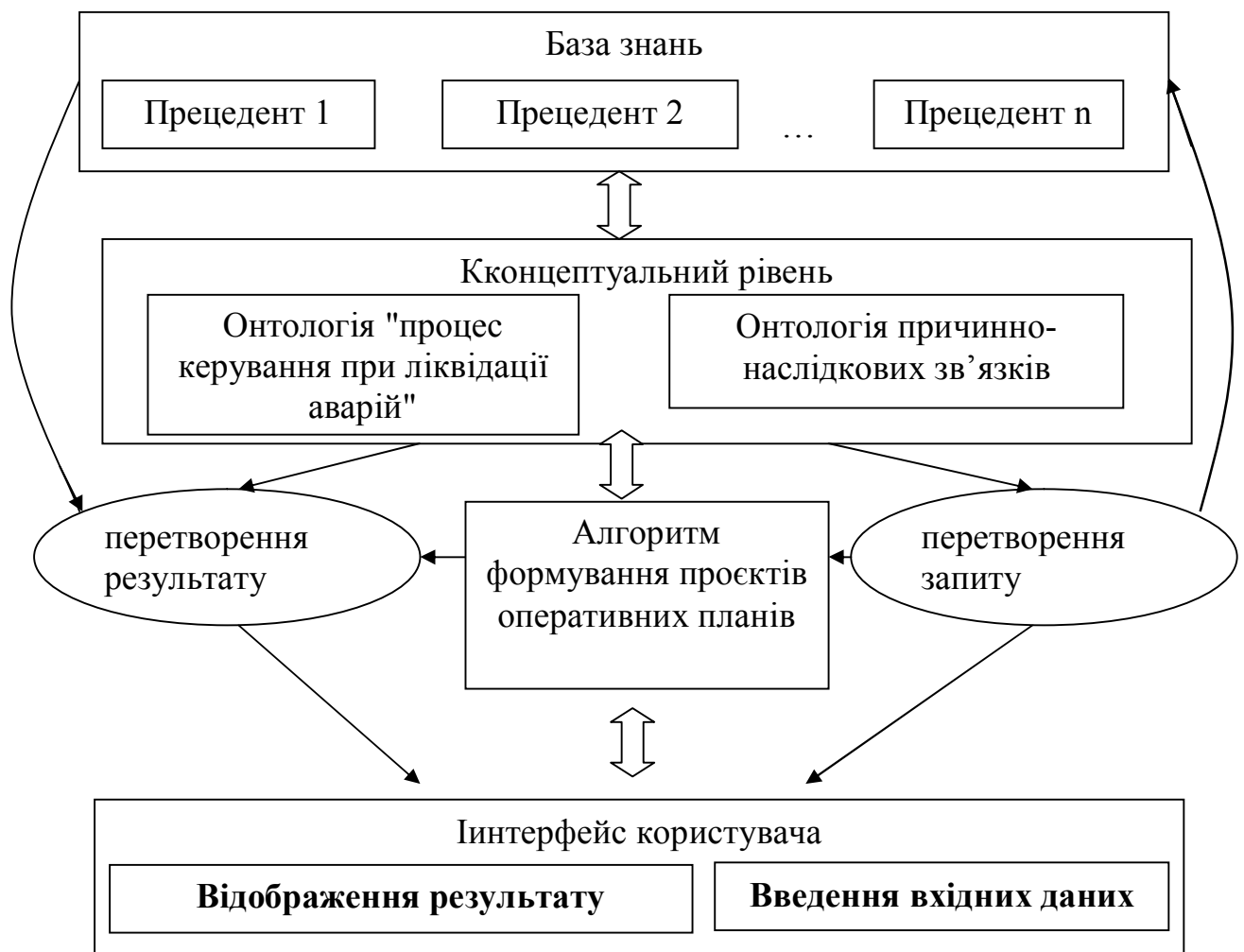


Рисунок 4.6 – Місце онтології у взаємодії користувача з АСППР

4.4.4 Особливості алгоритму формування проектів оперативних планів для підрозділів ДВГРС при ліквідації аварій на шахтах

Для виводу варіантів управлінських рішень пропонується розглядати кожен проблемну ситуацію як завдання, що вимагає знаходження методу її рішення у вигляді деякої сукупності під задач (або окремих не поділюваних операцій). Найбільш близьким до даного підходу є алгоритм HTN-планування, що був узятий за основу розробленого алгоритму формування тактичних планів оперативних дій при ліквідації аварій.

Алгоритм HTN-планування універсальний і може бути застосований у різних проблемних областях знань. Однак специфіка досліджуваної Про диктує необхідність його адаптації для ефективного використання. Відмінності побудованого алгоритму планування оперативних дій від класичного планувальника зазначені вище. Крім того, оскільки в кожному конкретному випадку ситуація може відрізнитися від тієї, з якої відбувається порівняння, виникає необхідність адаптації прецедентів, використовуваних алгоритмом. Семантика пропонованого алгоритму заснована на логіку предикатів 1-го порядку. Всі уведені в онтологічних моделях терміни й відносини інтерпретуються алгоритмом планування у вигляді термів, а основними одиницями, що характеризують оперативну обстановку на даний момент часу є основні атоми (вид предиката). При практичній реалізації даного алгоритму необхідно:

- урахувати тип терміна, що вводить, (атрибут, подія, процес, оперативне завдання і т.д.);
- указувати додаткові параметри, що характеризують термін, що вводить, (крім тих параметрів, які вже визначені для цього терміна в алгоритмі);
- визначити тип "Оперативного завдання" (чи є вона елементарною, нероздільною, цільовою, що забезпечує рішення, або складовою);
- указати альтернативні назви термінів, що вводяться;
- для кожного оперативного завдання, що вводиться, що не є елементарним, визначити ті параметри, які найбільшим чином впливають на її виконання в

контексті опису оперативної обстановки, що склалась на даний момент часу. Кількість таких параметрів не повинне бути значним (5-6).

4.4.5 Принципи функціонування підсистеми генерації проектів управлінських рішень (тактичних планів для оперативних дій підрозділів ДВГРС)

При побудові підсистеми генерації управлінських рішень (тактичних планів) використовується модель генерації управлінських рішень по прецедентах.

Прецедент – це заздалегідь збережена в базі знань АСППР структура даних, що представляє:

- опис поточного оперативного завдання й план дій по його рішенню (метод рішення оперативного завдання);

- причинно-наслідковий зв'язок і множина закономірностей її розвитку, що описує причинну залежність між подіями, процесами, діями підрозділами ДВГРС й атрибутами, що характеризують оперативну обстановку при аварії на шахті.

Алгоритм формування управлінських рішень (тактичних планів) по прецедентах заснований на методології CBR (Case-Based Reasoning).

У процесі формування рішення блок фіксації оперативної обстановки й визначення проблемної ситуації (рис. 4.1) автоматично, використовуючи накопичені в базі знань прецеденти – причинно-наслідкові зв'язки, коректує дані про поточний стан оперативної обстановки, а також попереджає про можливі наслідки того або іншого процесу, події і т.п.

Для реалізації запропонованого в роботі підходу підсистема генерації управлінських рішень (тактичних планів) повинна забезпечувати:

- а) динамічне додавання до бази прецедентів нових аварійних ситуацій;
- б) здійснення (заснованого на правилах) маніпулювання окремими прецедентами;

в) керування процесом вибору аварійних ситуацій на основі спеціальних схем вибору алгоритму пошуку й метрик подоби, призначених атрибутам, що описує прецеденти,;

г) кластеризацію "близьких" випадків й усунення надлишкових прецедентів;

д) визначення, фіксацію та (або) видалення прецедентів, що ведуть до несприятливих наслідків.

У процесі рішення завдання з бази знань вибираються й додаються до плану рішення завдання найбільш схожі прецеденти.

При цьому механізм пошуку схожих прецедентів не враховує деталі опису прецедентів, а зосереджується на аналізі оточення прецеденту, що задається цілями, обмеженнями й помилками.

План реалізації основного завдання створюється ієрархічним способом за допомогою послідовного спадної розбивки на під задачі. Коли механізму виводу дається опис деякого завдання, він вибирає прецедент, що найкраще підходить до поточній ситуації й завданню. Обраний прецедент містить "кістяковий" повний план. Потім кожен абстрактний крок плану розширюється за допомогою заміни його більш специфічними операціями. Ці дії припиняються в наступних випадках:

- план складається із простих, не розширюваних операцій;
- неможливо більше знайти метод рішення для жодного завдання.

На кожному кроці розширення плану відшукується найбільш підходящий прецедент, що відповідає мети розширення заданої операції. Операції, що зберігаються в прецеденті, приводять до встановлення обмежень, що виражають знання КАР про припустимі послідовності операцій, побічних ефектах операцій і т.д. Розширення плану викликає породження множини обмежень, що розповсюджуються через план. Використаний підхід відрізняється від підходів, використаних у класичних планувальниках тим, що розширення плану ґрунтуються не на використанні множини припустимих операторів або структурах більш високого рівня, а на зафіксованому у вигляді прецедентів досвіді експертів.

4.4.6 Підходи до проектування бази знань АСППР

Особливості функціонування блоку генерації управлінських рішень і зберігання знань ПрО у вигляді прецедентів визначають метод подання цих знань. Серед відомих МПЗ (семантичні мережі, фрейми, продукції) найбільш поширеним є подання знань у вигляді продукційно-фреймової моделі. Така модель досить гнучка й дозволяє відображати відносини типу "частина-ціле", спадкування між вхідними сутностями Про (наприклад, об'єкта гасіння, засобу гасіння, оперативне завдання й т.п.), що не заперечує принципу ієрархічної декомпозиції алгоритму планування тактичних дій, а також об'єктно-орієнтованим підходом розробки програм.

Продукції представляють процедурне знання (тобто його активну частину). У МПЗ досліджуваній ПрО вони виконують роль функції переходу від часу стану оперативної обстановки, реалізуючи динамічну складову моделі. При цьому умовами активації даних процедур є обмеження, що задаються логічною моделлю причинно-наслідкових зв'язків, а також передумови методів й операторів в алгоритмі планування дій. Декларативної частини знань (тобто статичної) відповідають знання, що описують поточний стан оперативної обстановки (робочу пам'ять), знання, збережені у вигляді прецедентів, а також онтологія ПрО.

При формуванні баз знань ПрО загальноприйнятою є практика по застосуванню спеціалізованих редакторів знань, керованих онтологією предметної області. У такий редактор вводиться інформація про природу й структуру знань предметної області, які передбачається вводити з його допомогою. Ця інформація являє собою онтологію ПрО.

У роботі запропонований підхід, заснований на універсальній моделі придбання знань [137], до рішення завдання організації процесу уведення в АСППР і формального подання знань експертів у предметній області "Автоматизована система підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах".

Результат, модель діалогу, є основою для розробки спеціалізованого редактора бази знань для системи підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах.

Для розробки редактора бази знань АСППР потрібна модель діалогу, що охоплює всю множину термінів, означених в онтології. ПрО (моделі "процесу керування оперативними діями" і логічної моделі причинно-наслідкових зв'язків). А також алфавіту формальної мови, використаної для опису алгоритму планування дій підрозділів ДВГРС .

4.4.7 Рекомендації до вибору програмних засобів розробки даної АСППР

Відповідно до нормативних документів ДВГРС України [145, 146] у якості загальносистемного програмного забезпечення визначені операційні системи Windows NT 4.0/2000/XP, СУБД Microsoft SQL Server, а середовища програмування - Delphi, C++, Java.

Тому, з метою забезпечення уніфікації спеціального програмного забезпечення АІУС РСЧС і систем підтримки прийняття рішень при гасінні пожеж (ліквідації ЧС), інформаційного обміну між ними, у якості СУБД пропонується використати Microsoft SQL Server, базового середовища програмування – Java, Borland Delphi, вододіючий наступними перевагами:

- одним з найшвидших існуючих компіляторів;
- засіб швидкої розробки прикладних програм.

Крім того, в основі Borland Delphi лежить об'єктно-орієнтована мова програмування Object Pascal, що реалізує всі основні переваги об'єктного підходу і є досить виразним для реалізації логіки запропонованих моделей й алгоритмів.

Об'єктно-орієнтовані особливості мови Object Pascal:

– Інкапсуляція. Об'єднання та приховання об'єктних даних від користувача, а також методів, що їх обробляють, усередині конкретного класу.

– Наслідування. При створенні нових об'єктів можливість одержати усі властивості і методи від своїх предків називають наслідуванням. Такі об'єкти наслідують після свого створення всі поля, властивості, події, методи та ін. від своїх предків.

– Поліморфізм. Методи різних об'єктів, які можуть мати однакові імена, але по внутрішньому вмісту відрізняються друг від друга.

Основні положення цієї роботи були представлені і випробувані в доповідях на науково-практичних конференціях [147-150].

ВИСНОВОК

У рамках звітнього етапу були виконані наступні види науково-дослідних робіт та отримані наступні результати:

1. Проведено аналіз змісту та специфіки процесу розробки і прийняття управлінських рішень існуючими організаційними структурами ДВГРС, керівниками ліквідації аварій на шахтах, що вирішують оперативно-тактичні завдання при ліквідації аварій. Розглянуто фактори, що впливають на невизначеність при розробці управлінських рішень посадовими особами органів керування силами і засобами на аваріях, дана класифікація помилок в управлінській діяльності керівників ліквідації аварій. Сформульовано основні напрямки автоматизації інформаційної підтримки процесу керування оперативними діями на аваріях.

Відзначено, що проблемі автоматизації підтримки процесу підготовки управлінських рішень (планування тактичних дій підрозділів ДВГРС) приділяється досить багато уваги. Однак пропоновані в цих роботах методи й моделі підтримки рішень не вирішують завдання автоматизації акумулювання та повторного використання досвіду фахівців з ліквідації аварій. За результатами аналізу сформульовано мету і завдання дослідження.

2. На основі концептуального подання предметних завдань вперше побудована онтологічна модель предметної області "Автоматизована система підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах", що складається із двох взаємозалежних за змістом частин:

– "Онтологічна модель процесу керування діями підрозділів ДВГРС при ліквідації аварій на шахтах";

– "Онтологічна модель причинно-наслідкових відносин, що мають місце в процесі розвитку оперативної обстановки при ліквідації аварій на шахтах".

3. Побудована онтологія предметної області є базисом, що забезпечує:

– формалізацію процесу уведення, накопичення в базі знань системи досвіду кращих фахівців з оперативного керування формуваннями ДВГРС при ліквідації

аварій на шахтах;

– розробку підсистеми для генерації проектів тактичних планів ліквідації аварій на шахтах з використанням наявних у базі знань прецедентів.

4. Розроблено алгоритм автоматизованого формування проектів тактичних планів, що забезпечує використання акумульованого в базі знань досвіду керування діями підрозділів ДВГРС при ліквідації конкретних аварій на шахтах. Алгоритм заснований на адаптованому синтаксисі та семантиці мови HTN-планування (ієрархічного мережевого планування), у якому план оперативних дій формується ієрархічним способом за допомогою послідовної розбивки розв'язуваного завдання (мета верхнього рівня) на підзавдання.

5. Розроблено продукційно-фреймову модель подання знань, використовуваних в автоматизованій системі підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах. Концептуальна схема продукційно-фреймової моделі подання знань Про представлена у вигляді діаграми класів (в UML – нотації), які можуть бути реалізовані на будь-якій об'єктно-орієнтованій мові (Java, C++, Object Pascal).

6. На основі запропонованого в роботі формального апарата розроблена модель процесу введення в інформаційну систему знань експертів досліджуваної предметної області. Модель являє собою семантичну мережу, що визначена за допомогою правил, що зазначають, на якому етапі повинні бути отримані ті або інші знання.

7. Запропоновано принципи побудови та розроблена архітектура автоматизованої інформаційної системи підтримки прийняття управлінських рішень при ліквідації аварій (АСППР).

8. Запропоновано методику проектування АСППР із використанням методології СВР (тобто забезпечення, накопичення, зберігання та повторного використання досвіду, представленого в системі у вигляді прецедентів), у якій дані рекомендації з реалізації розроблених моделей і алгоритму.

9. Результати, отримані в даній роботі, можуть бути використані:

– в інформаційно-довідковій і розрахунково-аналітичній підтримці прийняття управлінських рішень при ліквідації аварій на шахтах;

- при попередньому плануванні оперативних дій підрозділів ДВГРС та інших служб при ліквідації аварій на шахтах (складанні і запровадженні в дію ПЛА);
- для проведення експертизи реалізованих управлінських рішень при прецедентах, що мали місце;
- для проведення ділових ігор, пов'язаних з підготовкою і підвищенням кваліфікації посадових осіб органів керування при ліквідації аварій на шахтах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах / А.М. Брюханов, В.И. Бережинский, К.К. Бусыгин и др.; под общ. ред. А. М. Брюханова. – 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 и др.; под общ. ред. А. М. Брюханова. – Донецк: Норд-пресс, 2004. – Ч. II. – 632 с.
3. Розслідування і запобігання аварій на вугільних шахтах / О.М. Брюханов, В.І. Бережинський, В.П. Колосюк та ін.; під заг. ред. О.М. Брюханова. – Том 3. – Донецьк. – Вид. "Вебер", 2007. – 693 с.
4. Соболев Г.Г. Горноспасательное дело. Изд. 2 перераб. и доп. – М.: Недра, 1979. – 432 с.
5. Коваленко О.М. Розробка ефективних методів керування вентиляційними системами рудників при ліквідації аварій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07 / О.М. Коваленко; ДГІ. – Дніпропетровськ, 1988. – 17 с.
6. Лебедев В.И., Смолянов С.И. Особенности гасіння ізольованих підземних пожеж багаторазовим реверсуванням вентиляційних струменів // Гірничорятувальна справа: Зб. наук. праць / Під загальною ред. д-ра техн. наук П.С. Пашковського. – Донецьк: "Респіратор", 2001. – С. 57-61.
7. Ющенко Ю.Н., Лапін К.И. Автоматичні установки пожежегасіння і локалізації для гірничих виробок // Гірничорятувальна справа: Зб. наук. праць / Під загальною ред. д-ра техн. наук П.С. Пашковського. Донецьк: "Респіратор", 2002. – С. 32-37.
8. Беляева Л.С., Болдирев М.Н. Комп'ютерна база даних "Хімічне забруднення шахтного середовища" // Гірничорятувальна справа. Зб. наук. праць / Під загальною ред. д-ра техн. наук П.С. Пашковського. Донецьк: НВО "Респіратор", 2002. – С. 42-49.

9. Пашковский П.С., Марийчук И.Ф., Трухан Л.Н. Программное обеспечение для безопасного ведения горноспасательных работ // Уголь Украины. – 1999. – №3. – С. 33-34.

10. Кокоулин И.Е. Разработка методов автоматизированного составления оперативной части планов ликвидации аварий при экзогенных пожарах на рудниках: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / И.Е. Кокоулин; Днепропетровск, 1984. – 17 с.

11. Потьомкін В.Я. Автоматизація складання оперативної частини планів ліквідації аварій на шахтах і рудниках. – К.: Техніка, 1991. – 125 с.

12. Пучков Л.А. Синтез системы для автоматизированного составления плана ликвидации аварий шахт / Л.А. Пучков, Г.М. Мутанов // Известия вузов. Горный журнал. – 1991. – №11. – С. 117-119.

13. Мутанов Г.М. Имитационные модели систем автоматического управления проветриванием // Методы и алгоритмы автоматического проветривания угольных шахт. – М.: Недра, 1992. – 389 с.

14. Мутанов Г.М. Классификация и распознавание аварийных ситуаций на рудниках // Безопасность работы в промышленности. – 1992. – № 3. – С. 15-17.

15. Мутанов Г.М. О классификации аварийных ситуаций на рудниках / Г.М. Мутанов // Комплексное использование минерального сырья. – 1992. – №3. – С. 11-14.

16. Мутанов Г.М. Подсистема безопасности АСУ рудника // Известия вузов. Горный журнал. – 1992. – №11. – С. 83-86.

17. Мутанов Г.М. Система автоматизированного составления плана ликвидации аварий шахт: тез. докл. / Г.М. Мутанов, А.В. Костырин, В.Р. Вульф // Теория и практика комплексного освоения месторождений полезных ископаемых и обогащения минерального сырья: Сб. / ИПКОН РАН. – М., 1992.

18. Пучков Л.А. Представление базы знаний в системе экспертного составления плана ликвидации аварий рудников / Л.А. Пучков, Г.М. Мутанов // Информационные коммуникации, сети, системы и технологии: Всемирный конгресс ITS-92: Доклады Межд. форума информатизации МФИ-92. – М., 1992. – С. 271-273.

19. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Недра, 1977. – 223 с.

20. Правила безпеки при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом. – К.: Норматив, 1994. – 184 с.

21. Методичні рекомендації про порядок складання планів ліквідації аварій при веденні робіт у підземних умовах. – К., 1996. – 82 с.

22. Положення щодо розробки планів локалізації аварійних ситуацій і аварій розроблене НЦ "РІЗІКОН" м. Сєвєродонецьк. – К., 1999. – 30 с.

23. Статут ДВГРС по організації і веденню гірничорятувальних робіт ДНАОП 1.1.30 – 4.01 – 97: Утв. 6.06.97. – К., 1997. – 454 с.

24. Про Державну воєнізовану гірничо-рятувальну службу у вугільній промисловості. – К., 1992.

25. Повзик Я.С. Справочник руководителя тушения пожаров. – М.: ЗАО "Спецтехника", 2001. – 361 с.

26. Терєбнєв В.В., Терєбнєв А.В., Подгрушний А.В., Грачов В.А. Тактична підготовка посадових осіб органів керування силами і засобами на пожежі. – К.: Академія ГПС, 2004. – 288 с.

27. Положение о военизированных горноспасательных частях по обслуживанию горнодобывающих предприятий металлургической промышленности. – М., 1995.

28. Sardquist Stefan. An Engineering Approach to Fire-Fighting Tactics. – Report «I*1014, Dept of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, ISSN 1102-8246, ISRN LUTVDG/TVBB-1014-SE, 1996. – 83 p.

29. Повзик Я.З., Ключ П.П., Матвейкин А.М. Пожарная тактика. – М.: Стройиздат, 1990. – 355 с.

30. Найт Ф.Х. Риск, неопределенность и прибыль / Пер. с англ. – М.: Дело, 2003. – 360 с.

31. Eom S.B. Decision support systems research: reference disciplines and a cumulative tradition. II OMEGA // The International Journal of Management Science, 23, 5, October 1995, pp. 511-523.

32. Inmon W.H., Richard D.H. Using the Data Warehouse. New York: John Wiley & Sons, 1994.

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

34. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений. – М.: Наука, 1996. – 207 с.

35. Simon H.A. The new science of management decision. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall Inc., 1975. – 224 p.

36. Куликов Г., Сполохов А, Речкалов А. Автоматическое проектирование информационно-управляющих систем. Проектирование экспертных систем на основе системного моделирования. – Уфа, 1999. – 233 с.

37. Романов В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике: Учебное пособие / Под ред. д. э. н., проф. Н. П. Тихомирова. – М.: Издательство "Экзамен", 2003. – 496 с.

38. Рыбина Г.В. Проектирование систем, основанных на знаниях: учеб. пособие. – М: МИФИ, 2000. – 104 с.

39. Шеховцов О.И., Чертовской В.Д., Шифрин Б.М. Интеллектуальные средства поддержки принятия управленческих решений: учеб. пособие – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2000. – 59 с.

40. Смирнова Г.Н., Сорокин А.А., Тельнов Ю.Ф. Проектирование экономических информационных систем. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 512 с.

41. Романов А.Н., Одинцов Б.Е. Автоматизация аудита. – М: Аудит, ЮНИТИ, 1999. – 336 с.

42. Аверкиев А.В. Оценка последствий аварий и управление аварийными ситуациями на объектах повышенной техногенной опасности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 11.00.11 / А. В. Аверкиев. – М., 1999. – 17 с.

43. Дзекцер Е.С., Галицкая И.В., Юганова Т.Н. Экспертная система как инструмент оперативного принятия решений в чрезвычайной ситуации подтопления зданий и инженерных сооружений // Труды 3-й Всероссийской конференции "Проблемы информации региона". – Красноярск, 1997. – С. 169-178.

44. Келлер К., Левит Т.С., Бюто Б.Л. Технология экспертных систем для военных применений. Избранные примеры // ТИИЭР. – 1988. – Т. 76. – № 10. – С. 18-68.

45. Котенко И.В. Модели вывода по прецедентам для реализации интеллектуальных систем // Труды 6-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-98 – Пущино, 1998. – Т. 1. – С. 270-277.

46. Мешалкин Е.А., Кокушкин В.А., Дударев Г.И. Системы поддержки принятия решений и перспективы их использования в пожарной охране – М.: ГИЦ МЧС СССР, 1989. – №7. – 39 с.

47. Мешалкин Е.А., Кокушкин В.А., Дударев Г.И. Экспертные системы и перспективы их использования в пожарной охране – М.: ГИЦ МЧС СССР, 1988. – №6. – 43 с.

48. Ноженкова Л.Ф., Терешков В.И., Князьков Н.В., Исаев СВ., Нейман К.А., Дмитриев А.И. Автоматизована підтримка прийняття рішень по ліквідації хімічних аварій // Проблеми безпеки при надзвичайних ситуаціях. – 1995. – № 11. – С. 70-76.

49. Ночевкин В.Н. Теоретические основы создания информационных технологий принятия решения на операцию. – М.: АГЗ МЧС РФ, 1998. – С. 32-34.

50. Олейник А.В., Качала В.В. Интеллектуальная поддержка принятия управленческих решений // Материалы науч.-техн. конф. МГТУ. – М., 2000.

51. Проценко А.Н., Сегаль М.Д., Пантелеев В.А., Лейн А.Ф. Концепция экспертной системы для поддержки лиц, принимающих решение // ВИНТИ. Итоги

науки и техники. Сер. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1997. – № 2. – С. 35-49.

52. Топольский Н.Г., Вязилов А.В, Создание баз знаний для систем поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях // Материалы 2 международной конференции "Информатизация систем безопасности" – ИСБ-93. – М.: ВИПТШ МВД России, 1993. – С. 55-60.

53. Топольский Н.Г., Климовцов В.М. Принципы построения автоматизированных систем поддержки принятия решений в Государственной противопожарной службе // Материалы 8 международного форума "Технологии безопасности". – М., 2003. – С. 285.

54. Топольский Н.Г., Прус Ю.В., Климовцов В.М. Определение ранга пожара на объекте по диаграммам состояния // Материалы 13 международной конференции "Системы безопасности" СБ-2004. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – С. 297-299.

55. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная система поддержки принятия решений. – М.: Синетег , 1998. – 376 с.

56. Ф. Дж. Бартос. Искусственный интеллект: принятие решений в сложных системах управления.// Мир компьютерной автоматизации. – 1997. – № 4. – С. 2-27.

57. Зыков В.И., Мосягин А.Б., Абрамов А.П., Савинский А.Ф. Принятие решений при проектировании интегрированных автоматизированных систем безопасности // Пожарная безопасность. – 2002. – №4. – С. 103-105.

58. Avesani P., Perini A., Ricci F. Combining CBR and Constraint Reasoning in Planning Forest Fire Fighting. In Proceedings of 1st European Workshop on Case-Based Reasoning, Kaiserslautern, November 1-5, 1993.

59. Avesani P., Perini A, Ricci F., A Case Base Exploration Tool. IRST Technical Report № 9701-10.

60. Avesani P., Perini A, Ricci F. A Case Base Exploration Tool. IRST Technical Report 9702-02, submitted to International Conference on intelligent Data Analysis to be held in London, August, 1997.

61. Gerevini A., Perini A., Ricci F. Incremental Algorithms for Managing Temporal Constraints. IRST-TR 9605-07, May, 1996.

62. Marti P. The interface design of an integrated system for handling environmental emergencies. In Proceedings of International Workshop on Cognitive Ergonomics, Padua, Italy, 3-5 March 1995.

63. Marti P., Normand V. Bridging Software Design and Usability Analysis through Task Modeling. In Varghese, K. & Pfliegel, S. Human Comfort and Security Berlin: Springer Verlag, 2006.

64. Perini A., Ricci F. An Interactive Planning Architecture. In Proceedings "European Workshop on Scheduling and Planning", Assisy, Italy, September 1995. Also in M. Ghallab and A. Milani, "New directions in AI Planning", IOS Press 1996.

65. Perini A., Ricci F. Constraint Reasoning and Interactive Planning: an Application to Forest Fire Fighting. In Proceedings Workshop on Constraint Languages-Systems and their use in Problem Modelling. International Logic Programming Symposium, November 18-19, Ithaca, New York, 1994.

66. Sacerdoti E. D. A Structure for Plans and Behavior. Artificial Intelligence, American Elsevier, New York, 1977, pp. 1-65.

67. Sacerdoti, E. D. The Nonlinear Nature of Plans, Proc. of the Fourth Joint Conf. on Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann, 1975, pp. 206-214.

68. Kaelbling L.P., Littman L.M. and Moore A.W. Reinforcement learning: a survey II Journal of Artificial Intelligence Research, 1996, vol. 4, pp. 237-285.

69. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2000. – 382 с.

70. Герман О.В. Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний. – Минск: Дизайн-ПРО, 1995. – 195 с.

71. Джексон П. Введение в экспертные системы: Учебное пособие: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 624 с.

72. Искусственный интеллект: В 3-х кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / Под ред. Э. В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.

73. Искусственный интеллект: В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
74. Искусственный интеллект: В 3-х кн. Кн. 3. Программные и аппаратные средства: Справочник / Под ред. В. Н. Захарова, В. Ф. Хорошевского. – М.: Радио и связь, 1990. – 368 с.
75. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта. – М.: Мир, 1991. – 568 с.
76. Марселлус Д. Программирование экспертных систем на ТУРБО ПРОЛОГЕ Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1994. – 256 с.
77. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.
78. Хейес-Рот Ф., Уотерман Д., Ленат Д. Построение экспертных систем. Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 450 с.
79. Попов Э. В. Общение с ЭВМ на естественном языке. – М.: Наука, 1982. – 360 с.
80. Сошников Д.В. Методы и средства построения распределенных интеллектуальных систем на основе продукционно-фреймового представления знаний: дис. ... канд. физ.-мат. наук / Д. В. Сошников. – М.: МАИ, 2002. – 190 с.
81. Таунсенд К. Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ. – М., 1990. – 320 с.
82. Уотерман Д. Руководство по экспертным системам: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 388 с.
83. Калянов Г.Н. CASE-среда для моделирования бизнес-процессов // Промышленные АСУ и контроллеры. 1999. – №10. – С.14-16.
84. Коллинз Д. Структурный анализ в разработке систем. – М: Финансы и статистика, 1986 – 280 с.
85. Марка Д., Мак-Гоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования. – М.: "Метатехнология", 1993. – 240 с.
86. Чен П. Модель "сущность-связь" – шаг к единому представлению о данных //СУБД. – 1995. – №3. – С.137-158.

87. Integration Definition for Function Modeling (IDEFO). Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993, December 21. – 128 p.
88. Integration Definition for Information Modeling (IDEF1X), Draft Federal Information Processing Standards Publication 184, 1993 December 21. – 145 p.
89. Mayer R.J. (Ed.). IDEF1 information modeling: A Reconstruction of the Original Air Force Wright Aeronautical Laboratory. Technical Report AFWAL-TR-81-4023. College Station, TX: Knowledge Based Systems, Inc., 1992. – 269 p.
90. Mayer R.J., Menzel C.P., Painter M.K., deWitte P.S., et al. Information Integration For Concurrent Engineering (IICE). IDEF3 Process Description Capture Method Report. – Wright-Patterson Air Force Base, Ohio: Air Force Materiel Command, 1995. – 236 p.
91. Chen P.M. The Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data. II ACM Transactions on Database Systems, vol. 1(1), 1976.
92. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование. – Киев: "Диалектика", 1998. – 516 с.
93. Фридман А.Л. Основы объектно-ориентированной разработки программных систем. – М.: "Финансы и статистика", 2000. – 192 с.
94. Rumbaugh J., Blaha M. Object-Oriented Modeling and Design. - Prentis Hall Englewood Cliffs, NJ, 1991. – 500 p.
95. Resource Description Framework (RDF). Model and Syntax Specification. W3C Recommendation. 22 February 1999.
96. Resource Description Framework (RDF). Schema Specification 1.0. W3C Candidate Recommendation 27 March 2000.
97. Blaha M. and Rumbaugh J. Object Oriented Modeling and Design. Pearson Prentice Hall, 2005.
98. Chandrasekaran B. and Josephson J.R. What Are Ontologies, and Why Do We Need Them? II IEEE Intelligent System and their Applications. 1999. Vol. 14, No 1 (Jun/Feb), pp. 20-26.

99. Corcho, O., Fernandez-Lopez, M., Gomez-Perez, A. Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? // *Data & Knowledge Engineering*, Volume 46, 2003, pp. 41-64.

100. Gruber T.R. Ontolingua: A mechanism to support portable ontologies. II Technical report KSL-91-66. Stanford University, Knowledge System Laboratory, Revision, 1992.

101. Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontologies II *Knowledge Acquisition* - 1993, No. 5(2), pp. 199-220.

102. Gruber T.R. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing *International Journal of Human and Computer Studies*. - 1993, No. 43. pp. 907-928.

103. Guarino N. Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation. In N Guarino & R Poli (eds.) *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*, special issue of *Journal of Human-Computer Studies*, 1995.

104. Guarino N., Carrara M., Giaretta P. Ontologies and knowledge bases: towards a terminological clarification, in: N. Mars (Ed.), *Towards Very Large Knowledge Bases, Knowledge Building and Knowledge Sharing*, IOS Press, Amsterdam, 1995, pp. 25-32.

105. Guarino N., Masolo C., Vetere G., *OntoSeek: Content-Based Access to the Web* II *IEEE Intelligent Systems*, 14(3), May/June 1999, pp. 70-80.

106. Heijst G. Van, Schreiber A.Th., Wielinga B.J. Using explicit ontologies in KBS development. II *International Journal of Human-Computer Studies*, 1997, vol. 42(2/3), pp. 183-292.

107. Neches M., Fikes. E., Finin L., Gruber.R., Senator T., Swartout W.R.. *Enabling technology for knowledge sharing*// *AI Magazine*. – No. 12 (3), pp. 36-56, 1991.

108. Borst W.N. *Construction of Engineering Ontologies*, PhD Thesis, University of Twente, Enschede, NL – Centre for Telematica and Information Technology, 1997.

109. Guarino, N., Carrara, M., and Giaretta, P. An Ontology of Meta-Level Categories. In J. Doyle, E. Sandewall and P. Torasso (eds.), *Principles of Knowledge*

Representation and Reasoning: Proceedings of the Fourth International Conference (KR94). Kaufmann, San Mateo, 1994.

110. Studer R., Benjamins V.R., Fensel D. Knowledge engineering: principles and methods. II Data and Knowledge Engineering. – 1998. No. 25, pp. 161-197.

111. Клещов А.З, Артем'єва І.Л. Математичні моделі онтології предметних областей. Частина 1. Існуючі підходи до визначення поняття "онтологія" // Науково-технічна інформація, серія 2 "Інформаційні процеси і системи", 2001. – № 2. – С. 20-27.

112. Клещов А.С., Артем'єва І.Л. Математичні моделі онтології предметних областей. Частина 2. Компоненти моделі. // Науково-технічна інформація, серія 2 "Інформаційні процеси і системи", 2001. – № 2. – С. 34-39.

113. Клещов А.З, Артем'єва І.Л. Математичні моделі онтології предметних областей. Частина 3. Порівняння різних класів моделей онтології // Науково-технічна інформація, серія 2 "Інформаційні процеси і системи", 2001. – № 2. – С. 70-77.

114. Клещов А.З, Артем'єва І.Л. Незбагачені системи логічних співвідношень. Частина 1 // Науково-технічна інформація, серія 2 "Інформаційні процеси і системи", 2000. – № 7. – С. 18-28.

115. Uschold M., King M., Moralee S., and Zorgios Y. The Enterprise Ontology. II The Knowledge Engineering Review, 1998, Vol. 13 (1), pp. 31-89.

116. Lehmann F. Combining Ontological Hierarchies. in Guarino N, Poli R (eds.): Pre-Proceedings of the International Workshop on Formal Ontology, Ladseb, Padova 1993.

117. Черняховская Л.Р., Никулина Н.О., Халиков Т.А., Федорова Н.И., Водопьянов Р.В. Разработка динамической модели процесса управления в проблемных ситуациях на основе базы знаний прецедентов. // Управление в сложных системах. Межвузовский научный сборник. – Уфа, 1999. – С. 207-212.

118. Aamodt Agnar and Plaza Enric. Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. AI Communications, 7(1), 1994.

119. Aha D.W. Case-based learning algorithms. In Proceedings of the DARPA Case-

Based Reasoning Workshop. Washington, D.C.: Morgan Kaufmann, 1991, pp. 147-158.

120. Aha D.W., Breslow L.A., Mufioz-Avila H. Conversational Case-Based Reasoning. II Applied Intelligence № 14(1), 2001, pp. 9-32.

121. Becerra-Fernandez I., Aha D. Case-based problem solving for knowledge management systems. In Proceedings of the Twelfth Annual Florida Artificial Intelligence Research Symposium, pp. 219-223, Menlo Park, 1999.

122. Birnbaum L., Collins G., Brand M., Freed M., Krulwich B., and Pryor L. A model-based approach to the construction of adaptive case-based planning systems. In Bareiss, R., editor, Proceedings of the DARPA Case-Based Reasoning Workshop, San Mateo. Morgan Kaufmann, 1991, pp. 215-224.

123. Borner K. Towards formalizations in case-based reasoning for synthesis, in D.W. Aha (ed.), AAAI-94 Workshop on Case-Based Reasoning, 1994, pp. 177-181.

124. Клещев А.С., Гаврилова Т.Л., Артемьева И.Л. Логические модели предметных областей второго порядка. // Научно-техническая информация. – 1997. – №6. – С. 14-30.

125. Гаврилова Т. Л., Клещев А. С. Анализ подходов к решению проблемы правильности математических знаний // Проблемы управления. – 2005. – № 3. – С. 13-19.

126. Артемьева И.Л., Цветников В.А., Реутов В.А. Иерархическая модель онтологии физической химии. Часть 1. Модель метаонтологии "Сущности". Препринт – Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2001. – 22 с.

127. Munoz-Avila H., Aha D., Ballas J., Breslow L., Nau D. Using guidelines to constrain interactive case-based HTN planning. Tech. Report AIC-99-004, Naval Center for Applied Research on AI, Naval Research Lab., Washington, DC, 1999.

128. Munoz-Avila H., Aha D.W., Breslow L., Nau D.S. (1999). HICAP: An interactive case-based planning architecture and its application to noncombatant evacuation operations. Proceedings of the Ninth Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence, 1999, pp. 879-885.

129. Erol K., Handler J., Nau D.S. HTN-Planning: Complexity and Expressivity In Proceedings of AAAI-94, Seattle, 1994, pp. 1123-1128.

130. Erol K., Handler J., Nau D.S. Semantics for Hierarchical Task-Network Planning. Technical report CS-TR-3239, UMIACS-TR-94-31, ISR-TR-95-9, Computer Science Dept., University of Maryland, 1994.

131. Nau D., Cao Y., Lotem A., and Munoz-Avila H. SHOP and M-SHOP: Planning with Ordered Task Decomposition. Tech report TR 4157, University of Maryland, College Park, MD, 2000.

132. Nau 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, 1999.

133. Ilghami O., Nau D., Munoz-Avila H. and Aha D.W. CaMeL: Learning Method Preconditions for HTN Planning, 2002.

134. Ricci F., Perini A., Avesani P. Planning in a Complex Real Domain. In Proceedings of Workshop Italiano Automatica, Roma, September 16-17, 1993.

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

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

137. Грук А. В., Клещев А.С. Инструментальные средства интеллектуальной поддержки процесса приобретения различных видов знаний. Модель процесса. – Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2000. – 32 с.

138. ДСТ серія 19.XXX. "Єдина система програмної документації".

139. ДСТ серія 34.XXX "Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи".

140. ДСТ РІСО/МЕК 12207-99. Інформаційна технологія. Процеси життєвого циклу програмних засобів.

141. ДСТ РІСО/МЕК 14764-2002. Інформаційна технологія. Супровід програмних засобів.

142. ДСТ РІСО/МЕК ТЕ 15271-2002. Інформаційна технологія. Посібник із застосування ДСТ РІСО/МЕК 12207-99.

143. РД 50-34.698-90. "Методичні вказівки. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів і керівних документів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Вимоги до змісту документів".

144. 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.

145. Пашковский П.С., Марийчук И.Ф., Трухан Л.Н. Программное обеспечение для безопасного ведения горноспасательных работ // Уголь Украины. – 1999. – №3. – С. 33-34.

146. СОУ 10.1.-00174102-002-2004. "Система саморяттування гірників. Загальні вимоги" // Пашковський П.С., Ульїнський Э.Г., Конопелько Э.І., Потапенко І.О. Мінпаливенерго України. – К., 2004.

147. Алексеев О.М., Коваленко О.М. Мережні моделі для навчання системи підтримки ухвалення рішень при ліквідації пожеж на шахтах / О.М. Алексеев, О.М. Коваленко // Матеріали V науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців – ДоНТУ, С. 251-253.

148. Слесарев В. В. Логіко-математична модель системи оперативного управління силами і засобами при гасінні пожеж на шахтах / В. В. Слесарев, О.М. Коваленко, А.М. Алексеев // Збірн. наук. праць НГУ. – 2009. – №32. – С. 245-253.

149. Коваленко О. М. Продукційно-фреймова модель представлення знань про пожежу на шахті / О. М. Коваленко, О.М. Алексеев / "Комп'ютерний моніторинг та інформаційні технології 2009 // Матеріали V науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців ДоНТУ, С. 254-255.

150. Коваленко О. М. Онтологическая база знаний для систем поддержки принятия решений при ликвидации аварий на шахтах / А. Н. Коваленко, А.М. Алексеев // Современные направления теоретических и прикладных исследований: Сборник научных трудов, Одесский национальный морской университет. – 2009. – С. 32-33.

Додаток А**Витяг з протоколу № 6**
засідання кафедри геоінформаційних систем

м. Дніпропетровськ

"9" грудня 2010 р.

Присутні: зав. кафедрою проф. Бусигін Б.С., проф. Саричева Л.В., доц. Коротенко Г.М., доц. Трусов В.О., доц. Дорошкевич В.К., доц. Нікулін С.Л., доц. Гаркуша І.М., ас. Бабенко Г.М., ас. Любченко М.А., ас. Грищенко О.В., ас. Качанов О.В., ас. Логінов О.О., ас. Зацепін Є.П., ас. Сергеева К.Л., ас. Іванов Д.В.

Слухали: повідомлення доктора технічних наук, професора Бусигіна Б.С., наукового керівника теми ГП-407 "Інтелектуальні комп'ютерні технології обробки даних, прогнозування та управління", який доповів про основні наукові та практичні результати виконаних досліджень.

Питання поставили: проф. Саричева Л.В., доц. Трусов В.О., доц. Нікулін С.Л., доц. Гаркуша І.М., ас. Бабенко Г.М., ас. Качанов О.В., ас. Зацепін Є.П.

Ухвалили:

1. Вважати, що робота виконана в повному обсязі згідно з програмою, технічним завданням і календарним планом на 2010 рік.

2. Робота актуальна і має фундаментальний характер.

3. Науково-технічний рівень НДР відповідає сучасному рівню вітчизняних і світових розробок.

4. Наукове значення роботи: проаналізовано зміст та специфіку процесу розробки й прийняття управлінських рішень існуючими організаційними структурами державної воєнізованої гірничорятувальної служби, керівниками ліквідації аварій на шахтах, що вирішують оперативно-тактичні завдання при ліквідації аварій; побудовано онтологічну модель предметної області "Автоматизована система підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах"; розроблено алгоритм автоматизованого формування проектів тактичних планів.

5. Практичне значення роботи: реалізовано продукційно-фреймову модель подання знань, використовуваних в автоматизованій системі підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах; розроблено модель процесу уведення в інформаційну систему знань експертів досліджуваної предметної області.

6. Звіт по темі ГП-407 схвалити і рекомендувати до затвердження.

Завідуючий кафедрою ГІС,
д.т.н., професор

Бусигін Б.С.

Секретар, асистент

Грищенко О.В.

Додаток Б

Витяг з протоколу № 2

засідання секції «Інформаційні та телекомунікаційні системи»
науково-технічної ради Національного гірничого університету

м. Дніпропетровськ

"10" грудня 2010 р.

ПРИСУТНІ: голова секції – д.т.н., професор Кузнецов Г.В., заступник голови секції – д.т.н., професор Бусигін Б.С., к.т.н., професор Алексеєв М.О., д.т.н., професор Слесарєв В.В., д.т.н., професор Ткачов В.В., асистент Іванов О.М.

СЛУХАЛИ: доповідь наукового керівника теми ГП-407 "Інтелектуальні комп'ютерні технології обробки даних, прогнозування та управління" (етап 1 – "Теоретична розробка та створення методів інтегрованого аналізу геоданих"; етап 2 – "Створення технологій та методів побудови інтелектуальних прогнозуючих систем ідентифікації та оптимального керування"; етап 3 – "Розробка реляційної бази даних і знань експертної автоматизованої системи підтримки прийняття рішень") завідувача кафедри геоінформаційних систем професора Бусигіна Б.С. про виконану роботу по темі ГП-407 та основні положення заключного звіту НДР.

Доповідач відзначив, що робота виконана у повному обсязі згідно з технічним завданням та календарним планом. За результатами роботи опубліковано 33 наукових праці.

ВИСТУПИЛИ: професор Кузнецов Г.В., професор Алексеєв М.О., професор Ткачов В.В., які дали позитивну оцінку результатам виконаної роботи по темі ГП-407, відзначили, що робота виконана у повному обсязі згідно з календарним планом та технічним завданням. Виступаючі відзначили актуальність роботи та рекомендували заключний звіт з НДР ГП-407 за 2010 рік затвердити.

ВИРІШИЛИ:

1. Роботу по темі ГП-407 виконана у повному обсязі згідно з календарним планом та технічним завданням.

2. Результати роботи по темі ГП-407 є актуальними, їх науково-технічний рівень відповідає сучасному рівню науки, техніки та технологій. Ці результати мають теоретичне та практичне значення.

3. Звіт по темі ГП-407 не містить відомостей, що можуть бути віднесені до винаходу або відкриття, а також відомостей, що становлять державну таємницю.

4. Заключний звіт НДР ГП-407 ухвалити та рекомендувати до затвердження.

Голова секції,
д.т.н., професор

Г.В. Кузнецов

Вчений секретар секції

О.М. Іванов

Додаток В

Рецензія

на заключний звіт по науково-дослідній темі

ГП-407 "Інтелектуальні комп'ютерні технології обробки даних, прогнозування та управління"

В роботі досліджується процес керування силами й засобами гарнізонів державної воєнізованої гірничорятувальної служби при рішенні оперативно-тактичних завдань, пов'язаних з ліквідацією аварій на шахтах.

Основною задачею роботи є створення методів й алгоритмів інтелектуальної підтримки прийняття рішень органами оперативного керування при ліквідації аварій на шахтах, що забезпечують автоматизацію наповнення та повторного використання експертних рішень проблемних ситуацій (оперативно-тактичного досвіду).

У роботі використаний сучасний математичний апарат теорії множин, математичної логіки, формальної семантики мов, методи подання знань і баз даних, а також методології побудови програмних комплексів і систем.

У результаті досліджень отримані наступні результати:

– побудована логіко-математична модель предметної області "Автоматизована система підтримки прийняття рішень при ліквідації аварій на шахтах";

– розроблений алгоритм формування планів оперативно-тактичних дій, що дає можливість повторного використання акумульованого в базі знань досвіду для ліквідації аварій;

– розроблена продукційно-фреймова модель подання знань досліджуваної предметної області;

– на основі запропонованого алгоритмічного забезпечення розроблена модель процесу придбання знань експертами предметної області.

Практична значимість роботи полягає у використанні її результатів при розробці програмного та інформаційного забезпечення автоматизованих систем підтримки прийняття рішень посадовими особами при ліквідації аварій на шахтах.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – адаптація розроблених методів підтримки прийняття рішень в службах Міністерства надзвичайних ситуацій України.

До недоліків можливо віднести відсутність у звіті по НДР реальних мережних моделей аварій, які мали місце на шахтах.

Науково-технічний рівень НДР відповідає сучасному рівню вітчизняних і світових розробок. Робота є актуальною, має фундаментальний характер і комплексний підхід.

Доктор техн. наук,
професор

Ткачов В.В.

Додаток Г
Витяг
з протоколу №8
засідання науково-технічної ради
ВАТ НВП «Орбіта»

"10" грудня 2010 р.

м. Дніпропетровськ

Присутні: 12 членів НТР.

Порядок денний: розгляд результатів держбюджетної фундаментальної НДР ГП-407 "Інтелектуальні комп'ютерні технології обробки даних, прогнозування та управління", виконаної у Національному гірничому університеті у 2008-2010 роках.

Виступив: керівник теми проф. Бусигін Б.С., який доповів зміст виконаної роботи.

У обговоренні прийняли участь 12 членів НТР.

Ухвалили: результати роботи представляють інтерес для вирішення задач підвищення надійності та оперативності прийняття рішень в задачах надрокористування, управління гірничопромисловими підприємствами, геологічних та екологічних досліджень, прогнозу та пошуку корисних копалин, прогнозування небезпечних природних та техногенних явищ і будуть використані для вирішення відповідних задач на території Дніпропетровської області.

Голова правління

В.О. Бойко