

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ імені С. П. КОРОЛЬОВА

**Ю. Г. ДАНИК, О. О. ПИСАРЧУК, В. І. ШЕСТАКОВ,
К. О. СОКОЛОВ, С. В. ЧЕРНИШУК, О. В. ЛАГОДНИЙ,
С. В. ТИМЧУК**

**БАГАТОКРИТЕРІЙНІ МАТЕМАТИЧНІ
МОДЕЛІ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ
ТА САМООРГАНІЗАЦІЇ У СКЛАДНИХ
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

Монографія

Житомир
2016

*Рекомендовано до друку вченою радою Житомирського військового
інституту імені С. П. Корольова
(протокол № 9 від 17 березня 2016 року)*

Р е ц е н з е н т и :

І. Г. ГРАБАР – доктор технічних наук, професор;
М. А. ПАВЛЕНКО – доктор технічних наук, доцент.

Багатокритерійні математичні моделі ситуаційного управління та самоорганізації у складних інформаційних системах / Ю. Г. Даник, О. О. Писарчук, В. І. Шестаков та ін.. – Житомир : **ЖВІ**, 2016. – 232 с.

Монографія присвячена розгляду багатокритерійних математичних моделей ситуаційного управління та самоорганізації, що застосовуються для аналізу і синтезу складних інформаційних системах та обробки в них отримуваних даних. Включає оригінальні результати, отримані авторами протягом останніх років, що практично впроваджені у конкретних інформаційних системах і пройшли апробацію в реальних умовах обстановки.

Буде корисна науковцям, ад'юнктам, аспірантам, курсантам та студентам, які працюють у галузі науки, що охоплює проблеми аналізу та синтезу складних розподілених ергатичних інформаційних систем із використанням методів багатокритеріального аналізу, ситуаційного управління, самоорганізації, автоматизованого вироблення рішень на підставі обробки отримуваної інформації.

Автори: доктор технічних наук, професор **Даник Ю. Г.**; доктор технічних наук, професор **Писарчук О. О.**; кандидат технічних наук, доцент **Шестаков В. І.**, **Соколов К. О.**, кандидат технічних наук **Чернишук С. В.**, **Лагодний О. В.**, **Тимчук С. В.**

УДК 004.9:629.7:519.711.3

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	7
Розділ 1. СИТУАТИВНИЙ ПІДХІД ДО СИНТЕЗУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ	8
1.1. Загальні відомості про відомі принципи побудови систем збору й обробки інформації	8
1.2. Постановка завдання розробки ситуативного підходу до синтезу автоматизованої системи	10
1.3. Ситуативний синтез автоматизованої системи збору й обробки інформації від технічних засобів моніторингу	14
1.4. Структурна модель автоматизованої системи збору й обробки інформації від технічних засобів розвідки	26
Розділ 2. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ СКЛАДНОЇ ЕРГАТИЧНОЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ РЕАГУВАННЯ НА КОНФЛІКТНІ СИТУАЦІЇ	33
2.1. Методичні підходи до структурного та параметричного синтезу ергатичної розподіленої інформаційно-керуючої системи	34
2.2. Формалізація задачі структурного та параметричного синтезу ергатичної розподіленої інформаційно-керуючої системи	34
2.3. Розв'язання задачі структурного та параметричного синтезу ергатичної розподіленої інформаційно-керуючої системи	41
2.4. Оцінювання ефективності результатів конфігурування системи реагування на конфліктні ситуації	54
2.5. Розрахунковий приклад практичного використання методики структурно-параметричного синтезу системи реагування на конфліктні ситуації	58
2.6. Математична модель ситуаційного структурного синтезу системи моніторингу інформаційного простору	62
2.7. Методика структурно-параметричного синтезу системи виявлення кібернетичних загроз за результатами моніторингу відкритих ресурсів інформаційно-телекомунікаційних систем	74
Розділ 3. САМООРГАНІЗОВАНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОЮ І ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЗАДАНИХ ОБ'ЄКТІВ	89
3.1. Загальні відомості про принципи побудови та формування самоорганізованих математичних моделей ситуаційного управління структурою і параметрами систем моніторингу заданих об'єктів	89
3.2. Постановка задачі формування математичної моделі ситуаційного управління структурою й параметрами систем моніторингу заданих об'єктів ...	90
3.3. Формування груп (категорій) часткових показників і критеріїв	

оптимальності структури й параметрів системи моніторингу	94
3.4. Синтез самоорганізованої математичної моделі ситуаційного управління структурою і параметрами систем моніторингу заданих об'єктів	103
3.4.1. Математична модель синтезу надлишкової структури системи моніторингу	105
3.4.2. Самоорганізована математична модель ситуаційного структурно-параметричного синтезу інформаційно-керуючого кластера системи моніторингу	115
3.4.3. Оцінювання ефективності ситуаційного синтезу структури інформаційно-керуючого кластера	118
Розділ 4. КОНЦЕПЦІЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОНТРОЛЬОВАНИХ СИТУАЦІЙ НА ОСНОВІ САМООРГАНІЗАЦІЇ РІЗНОРІДНИХ ОЗНАК	123
4.1. Постановка задачі на розробку концепції ідентифікації на основі самоорганізації	123
4.2. Концепція ідентифікації на основі самоорганізації	126
4.2.1. Самоорганізація для розв'язання задач ідентифікації	128
4.2.2. Розробка математичної моделі ідентифікації на основі самоорганізації	131
4.2.3. Приклад використання математичної моделі ідентифікації на основі самоорганізації	141
Розділ 5. БАГАТОВИМІРНЕ ЗГЛАДЖУВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ, КОНТРОЛЬОВАНИХ СКЛАДНИМИ ІНФОРМАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ	144
5.1. Загальні відомості про багатовимірне згладжування стохастичних процесів	144
5.2. Формалізація завдання багатовимірного згладжування стохастичних процесів	145
5.3. Реалізація багатовимірного згладжування стохастичних процесів, контрольованих складними інформаційними системами з використанням методу найменших квадратів	146
Розділ 6. МЕТОДИЧНЕ ТА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ НЕГАТИВНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ВПЛИВУ	161
6.1. Теоретичні основи процесу нейтралізації негативного інформаційного впливу	161
6.2. Математична модель багатокритерійного оцінювання ефективності інтернет-сайтів	163
6.3. Технологія автоматизованої багатовимірної оперативної та поглибленої аналітичної обробки актуальних інформаційних масивів	170
6.4. Методика фільтрації інформаційних повідомлень інтернет-джерел та їх класифікація	186
6.5. Методика розробки інформаційно-довідкових систем для автоматизації аналітичної роботи	193
6.6. Автоматизація процесу нанесення оперативної обстановки на векторну карту місцевості	200
6.7. Методика автоматизованого виявлення негативного інформаційного впливу в автентичних текстах за даними засобів моніторингу відкритих джерел інформації	210
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	220

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АОД – аналітична обробка даних;
АРМ – автоматизоване робоче місце;
АСЗОІ – автоматизована система збору та обробки інформації;
АСУВЗ – автоматизована системи управління військами і зброєю;
АСУ ОМ – автоматизована системи управління об’єктів моніторингу;
БГД – база геоданих;
БД – база даних;
БЗ – база знань;
БПЛА – безпілотний літальний апарат;
ВП – випадкові похибки;
ГАСК – геоцентрична абсолютна система координат;
ГВ – грубі вимірювання;
ГСК – геоцентрична система координат;
ДО – динамічний об’єкт;
ДР – диференціальне рівняння;
ДС – диференціальний спектр;
ДТ – диференціально-тейлорівський;
ДТП – диференціально-тейлорівське перетворення;
ІАР – інформаційно-аналітична робота;
ІД – інформаційне джерело;
ІДС – інформаційно-довідкова система;
ІКК – інформаційно-керуючий кластер;
ІТС – інформаційно-телекомунікаційна система;
КА – космічний апарат;
КВ – коефіцієнт відповідності;
КВПФ – квадрат відхилу площ фігур;
КЗ – кібернетична загроза;
КМП – кореляційна матриця похибок;
КС – конфліктна ситуація;
НБ – нічний бінокль;
ОЗ – оперативне завдання;
ОМ – об’єкт моніторингу;
ПЗ – провідний зв’язок;
ПК – повітряний корабель;

ПМТ – природномовні тексти;
ПСК – пунктова система координат;
РЛС – радіолокаційна станція;
РЛСК – радіолокаційна система координат;
РПрП – радіоприймальний пристрій;
СВС – система відеоспостереження;
СЖ – стаціонарне живлення;
СЗОІ – система збору та обробки інформації;
СЗОП – сили та засоби об'єкта протиборства;
СЗСП – сили та засоби суб'єкта протиборства;
СКВ – середньоквадратичне відхилення;
СМ – система моніторингу;
СМІнП – система моніторингу інформаційного простору;
СНОІМ – система накопичення й обробки інформації моніторингу;
СПЗ – спеціальне програмне забезпечення;
СППР – система підтримки прийняття рішень;
СТК – система телекомунікації;
СТО – спеціальне технічне обладнання;
СЦ – ситуаційний центр;
ТЗВ – технічний засіб вимірювання;
ТЗМ – технічний засіб моніторингу;
ТСП – тепловізійний спостережний прилад;
ТХ – технічна характеристика.

ВСТУП

Розвиток інформаційних технологій забезпечив технічну основу для створення складних розподілених ергатичних інформаційних систем різного призначення. Такі системи впроваджуються і з успіхом застосовуються у багатьох сферах, зокрема: оборонний сектор держави; екологія та енергетика; інфраструктурна галузь; космонавтика тощо. Зазначені системи призначені для здійснення процесів локально-глобального безперервного або кризового контролю й управління військами та зброєю, засобами технічного моніторингу, інформаційної безпеки, контролю об'єктів із критичною структурою, місць скупчення людей, проведення масових заходів тощо. Сучасні інформаційні системи породжують єдине міжгалузеве абстрактне інформаційне середовище (кіберпростір), у якому функціонують, взаємодіють, модифікуються і розвиваються технічні та соціотехнічні структури.

Сьогодні на тлі вирішених завдань технічної організації процесів збору та передачі інформації виникає низка принципівих проблем, що породжуються самою ідеологією глобальних інформаційних процесів. У першу чергу це функціонування подібного класу систем із забезпеченням умов достовірності, своєчасності і повноти вихідної інформації в реальному (або наближеному до реального) масштабі часу в умовах надмірності інформаційних потоків та значної динаміки зміни внутрішньої та зовнішньої обстановки. Особливого значення у цьому сенсі набувають процесуальні аспекти організації функціонування складних інформаційних систем, врахування динамічних властивостей їх ергатичної складової та змін структурно-параметричних характеристик технічних елементів системи у часі.

У цьому сенсі потужним резервом можливостей для подолання вказаних проблем володіють сучасні методи багатокритерійного аналізу, ситуативного управління, самоорганізації технічних систем та інформаційних процесів, розвитку фрактальних структур тощо.

Тому представлена робота присвячена розгляду багатокритерійних математичних моделей ситуаційного управління та самоорганізації, що застосовуються для аналізу і синтезу складних інформаційних системах та обробки в них отримуваних даних. Монографія включає оригінальні результати, отримані авторами протягом останніх років, що практично впроваджені у конкретних інформаційних системах і пройшли апробацію в реальних умовах обстановки. Монографія побудована таким чином, що кожен її розділ присвячений розв'язанню конкретного завдання і може вивчатись окремо від інших складових. При цьому весь матеріал роботи об'єднаний єдиною проблематикою, що відповідає її назві.

Монографія буде корисна науковцям, ад'юнктам, аспірантам, курсантам та студентам, які працюють у галузі науки, що охоплює проблеми аналізу та синтезу складних розподілених ергатичних інформаційних систем із використанням методів багатокритеріального аналізу, ситуаційного управління, самоорганізації, автоматизованого вироблення рішень на підставі обробки отримуваної інформації.

Розділ 1. СИТУАТИВНИЙ ПІДХІД ДО СИНТЕЗУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ

1.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВІДОМІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ЗБОРУ Й ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Війни і локальні конфлікти останніх років та тенденції в удосконаленні форм та методів збройної боротьби характеризуються всебічною інформатизацією цього процесу, високою динамікою змін обстановки, гібридністю у діях та асиметричним характером збройної боротьби. Основним із факторів досягнення цілей військової агресії стає інформаційна перевага над противником, яка забезпечується об'єднанням у єдине інтегроване інформаційне середовище на базі захищених телекомунікаційних каналів передачі інформації й ефективним застосуванням за єдиним задумом технічних засобів моніторингу, інформаційної (інформаційно-психологічної, кібернетичної) протидії, радіоелектронного впливу, традиційних систем ударного озброєння. Цим досягається всеохоплююча інформаційна обізнаність командирів різної ланки управління для формування своєчасних і достовірних рішень [46, 150].

На теперішній час кожна розвинута у військовому сенсі держава має на озброєнні сучасні автоматизовані системи управління військами і зброєю (АСУВЗ) та інтенсивно й результативно проводить дослідження з їх удосконалення. АСУВЗ є апаратно-програмною основою єдиного інтегрованого інформаційного середовища управління. До таких систем, наприклад, належать: автоматизована система збору, обробки і розподілу інформації ЗС США DCGS (Distributed Common Ground System); система управління бойовими компонентами та модулями JASMINE (Польща); автоматизовані системи управління “Акация-МЕ” і “Созвездие-2М” (Росія) [4, 38] та багато інших. Ключовою компонентою (підсистемою) АСУВЗ є система збору та обробки інформації (СЗОІ) моніторингу зовнішньої обстановки за всіма її складовими. Саме СЗОІ визначає повноту, своєчасність та достовірність інформаційного забезпечення АСУВЗ та ефективність її функціонування в цілому.

Оцінки розробників АСУВЗ та результати їх практичного застосування переконливо доводять наявність проблем у принципах побудови та методологічній базі обробки інформації у СЗОІ [4, 38]. Першопричиною цього є інформаційна надмірність даних моніторингу, зумовлена особливостями реалізації єдиного інформаційного простору. Характерним при цьому є постійне зростання кількості інформаційних джерел та технічних засобів моніторингу різного типу. Зазначені особливості посилюються значною динамікою зміни зовнішньої обстановки в ході реалізації управління. В результаті виникає конфлікт інформаційної надмірності та технічної й методологічної спроможності оперативного опрацювання великих обсягів даних для прийняття ефективних рішень на управління в умовах значної динаміки зміни поточної ситуації.

Таким чином, актуальним є завдання вироблення методологічних підходів до побудови та обробки інформації у СЗОІ за умов значної інформаційної надмірності результатів моніторингу, високої щільності потоку конфліктних ситуацій (КС) для реалізації управління та динаміки зміни поточної ситуації.

Відомі підходи до синтезу структур складних систем базуються здебільшого на формуванні (тим чи іншим способом) статичної структури системи, незмінної у процесі її функціонування і застосування [27, 35, 102, 143]. При цьому завдання і функції системи, як правило, рівномірно розподіляються між усіма її складовими з вибірковістю елементів лише за ієрархією структури в горизонтально-вертикальних зв'язках. На збільшення кількості і щільності потоку конфліктних ситуацій управління системи реагують збільшенням елементів структури за відповідними рівнями, що породжує, у свою чергу, інформаційну надмірність даних для обробки.

Відомі підходи до обробки інформації в сучасних СЗОІ за основу мають статистичні підходи (методи оцінювання, або згладжування експериментальних даних). Їх точнісні характеристики безумовно покращуються зі збільшенням обсягів експериментальних даних. Однак із наближенням експериментальних вибірок до тисячі вимірів продуктивність відомих підходів не забезпечує реального масштабу часу їх застосування, а на точнісні характеристики істотно впливає нелінійність досліджуваних процесів. Крім того, традиційні методи обробки вимірів в існуючій формі не прийнятні для обробки нестационарних випадкових процесів зі змінними статистичними характеристиками у часі [53, 74, 129, 145]. Тим більше, їх використання є проблемним для спільної обробки вимірювальної інформації та інформації, що складно формалізується (результати видового моніторингу, судження військових розвідників тощо). Саме ці особливості інформації властиві сучасним СЗОІ.

Зазначені особливості є недоліками існуючих підходів до синтезу структури та обробки інформації в сучасних складних інформаційних системах типу СЗОІ. Можливим шляхом усунення зазначених недоліків є застосування синергетичних методів, зокрема ідеології ситуаційного управління [117], фрактального опису складних інформаційних систем, методів самоорганізації на етапі обробки інформації.

Виходячи із зазначеного, метою розділу є вироблення напрямів щодо ситуаційного синтезу структури та отримання ефективних методів обробки даних в автоматизованій системі збору та обробки інформації від технічних засобів моніторингу в умовах значної інформаційної надмірності, високої щільності потоку КС для реалізації управління та динаміки зміни поточної обстановки.

1.2. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ РОЗРОБКИ СИТУАТИВНОГО ПІДХОДУ ДО СИНТЕЗУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

Досягнення мети досліджень потребує, перш за все, аналізу принципів та особливостей побудови АСУ та її складової – СЗОІ. У загальному вигляді, будь-яка автоматизована система управління (АСУ) (АСУВЗ не є винятком) будується за класичною схемою (рис. 1.1).

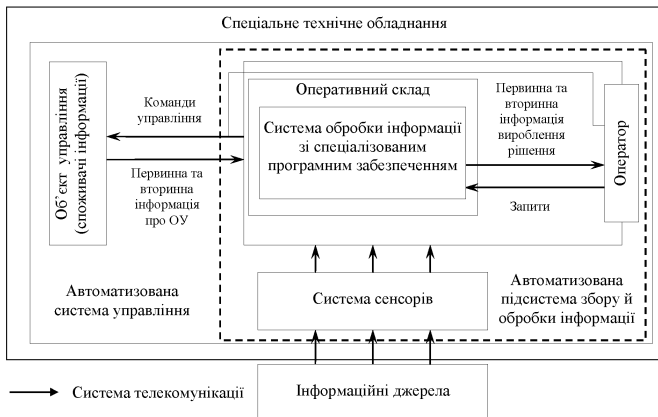


Рис. 1.1

Сучасну АСУВЗ слід розглядати не стільки як складну, а як велику систему, що і породжує значну інформаційну надмірність, високу щільність потоку КС та динаміку зміни поточної обстановки. В усіх відомих

АСУВЗ упроваджено *ідеологію* відкритих, розподілених складних ергатичних інформаційно-керуючих систем, інваріантних за своєю структурою до рівня управління. *Технологічно* такі системи побудовані на основі захищених комп'ютерних мереж та комплектуються мобільним, взаємозамінним, стандартизованим у межах бойових завдань модульним обладнанням. Це забезпечує високу готовність до застосування та стійкість системи до надзвичайних ситуацій, оперативну сумісність і гнучкість при здійсненні об'єднаних та коаліційних дій з управління кризами та можливість об'єднання як існуючих підсистем, елементів, так і перспективних високотехнологічних засобів без перехідних циклів заміни застарілого обладнання. *Функціональною* основою побудови сучасних АСУВЗ є цикл управління Дж. Бойда: Observation – спостереження (збір інформації від внутрішніх і зовнішніх джерел); Orientation – орієнтування (формування множини можливих планів дій і оцінка кожного з них за сукупністю критеріїв); Decision – рішення (вибір найкращого плану дій для практичної реалізації); Action – дія (практична реалізація вибраного плану дій) [150]. Цикл Бойда забезпечує впровадження в АСУВЗ моделі незалежного управління – реалізація в реальному масштабі часу інформаційних запитів від об'єктів управлінням різної ланки з доступністю отриманої інформації для всіх рівнів ієрархії вертикальних та горизонтальних зв'язків у системі з можливістю жорсткого розмежування доступу.

Призначення та суть складових АСУ та взаємодіючих елементів полягає ось у чому.

Як *інформаційні джерела* розглядаються ті, що перебувають на об'єктах моніторингу (ОМ) (пілотовані і безпілотні повітряні, космічні апарати, пункти управління, радіотехнічні системи і комплекси різного призначення тощо) радіо- і радіолокаційні станції, системи радіозв'язку та інше устаткування, що має випромінювання в акустичному, радіо-, відео- та інфрачервоному діапазонах хвиль. Засоби сенсорної складової АСУ ОМ через інформаційні джерела (ІД) можна охарактеризувати ознаками трьох класів: *факти* – об'єктивна інформація про ОМ, що відображається числовою величиною, наприклад космічний (або від аеродинамічного об'єкта) знімок ОМ, його контури, склад, динаміка зміни форми і т.д.; *дані* – об'єднують вимірювальну інформацію про ОМ, наприклад його координати, параметри траєкторії руху (зокрема екстрапольовані), характеристики випромінюваних сигналів, ефективна поверхня розсіювання, радіолокаційний портрет тощо; *судження* – суб'єктивна інформація про ОМ, наприклад його характер дій, зміст радіообміну “борт-земля” повітряного корабля, стан ОМ і т.ін.

Об'єкти управління (споживачі інформації або виконавчі елементи) – це сукупність сил і засобів, що реалізують упорядкований комплекс дій, спрямованих на виконання команд управління – усунення КС.

Центральними компонентами АСУ є сукупність елементів, які формують підсистему збору та обробки інформації (на схемі позначені пунктиром), яку окремо від АСУ можна розглядати як цілісну самостійну компоненту – інформаційну чи інформаційно-керуючу систему. Щодо АСУВЗ функції цих елементів об'єднує система збору та обробки інформації (СЗОІ) від технічних засобів моніторингу інформаційних джерел. Вона забезпечує пункти управління різного рівня попередньо обробленою узагальненою та адаптованою інформацією про противника через ІД, тим самим надаючи основу для прийняття рішення та подання відповідних команд на об'єкти управління – сили та засоби.

Система збору та обробки інформації від технічних засобів моніторингу у загальному вигляді є сукупністю таких складових (підсистем).

Множина технічних засобів моніторингу (ТЗМ) (сенсорів) є сукупністю, як правило, різнорідних автономних технічних засобів (вимірювальних (інформаційних) систем, сенсорів, окремих датчиків і т. ін.), а також інших засобів, за допомогою яких формується масив даних, фактів або лінгвістичних характеристик про поточну (зовнішню) ситуацію (обстановку) стан, режими роботи, дії ІД. Прикладом ІД можуть бути системи, радіолокаційного спостереження повітряного (космічного) простору, космічні інформаційні системи (дистанційного зондування Землі, метеорологічні, навігаційні), засоби тепловізійного спостереження, контролю радіочастотного ресурсу, датчики руху і т. д. – будь-які технічні засоби розвідки (моніторингу або спостереження) різних діапазонів хвиль.

Система обробки інформації (технічна складова) зі спеціалізованим програмно-алгоритмічним (інформаційним) забезпеченням процесів накопичення, зберігання, обробки (у тому числі аналітичної) інформації та підтримки прийняття рішень. Технічна складова становить собою сукупність автоматизованих робочих місць (АРМ), обладнаних обчислювальними засобами, системами передачі даних та засобами прийому і відображення інформації колективного та індивідуального користування, об'єднаних у ситуаційні центри централізованого чи розподіленого типів (DATA-центри). Програмно-алгоритмічна складова будується за принципами інформаційних систем, спеціалізованих баз даних, розрахункових додатків, інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень із всебічним застосуванням геоінформаційних технологій [93].

Система телекомунікації, що відповідає вимогам захищеності та стійкості, становить собою сукупність засобів та каналів зв'язку всіх можливих типів для передачі аудіо-, відео-, сигнальної, цифрової, сервісної та

іншої інформації на внутрішніх і зовнішніх контурах за різними рівнями ієрархії.

Спеціальне технічне обладнання, яке включає системи навігації, електроживлення, життєзабезпечення, технічного захисту інформації тощо.

Оперативний склад операторів АРМ системи обробки інформації, що відповідає вимогам фахової підготовки та поточного стану високопродуктивної роботи.

Синтез складної системи (СЗОІ) полягає у визначенні трьох категорій: властивості, елементи, відношення. Однозначний і повний опис цих категорій визначає систему, її структуру, параметри та ефективність. Метою синтезу системи є конкретизація і визначення оптимальних (раціональних) рішень для вказаних категорій.

Властивості (вимоги) СЗОІ повинні забезпечити можливість ефективного її функціонування в умовах значної інформаційної надмірності результатів моніторингу, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної ситуації з використанням уже застосованих підходів та доповнених новітніми пропозиціями і включатимуть:

упровадження ідеології відкритих розподілених складних ергатичних інформаційно-керуючих систем, інваріантних за своєю структурою до рівня управління;

використання технологій захищених комп'ютерних мереж, комплектування мобільним, взаємозамінним, стандартизованим у межах бойових завдань модульним обладнанням для досягнення високого рівня сумісності, взаємозамінності і гнучкості;

впровадження циклічності етапів “спостереження – орієнтування – рішення – дія” з реалізацією в режимі реального часу інформаційних запитів для всіх рівнів ієрархії вертикально-горизонтальних зв'язків із розмежуванням доступу;

динамічні властивості СЗОІ у ситуативній структурно-параметричній адаптивності (реконфігурації) та нарощування залежно від типу, щільності потоку КС та динаміки зміни поточної ситуації із зниженням розмірності задач обробки інформації за рахунок послідовно-паралельного режиму реалізації і внутрішніх циклів функціонування систем;

забезпечення високих показників оперативності, достовірності і повноти вихідної інформації СЗОІ.

Визначення складу СЗОІ, параметрів її елементів та відношень (інформаційних зв'язків) між ними формують суть задачі структурно-параметричного синтезу системи. Виконання сформованих вимог до системи, в умовах значної інформаційної надмірності, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки створення статичної структури СЗОІ є мало-ефективним та недоцільним. Цей шлях є регресивним і, як довела практика,

призводить до появи громіздких структур, не здатних модифікуватись, адаптуватись та розвиватись залежно від інформаційних запитів та потреб обстановки. В той же час в об'єктах живої та неживої природи з успіхом вирішуються завдання створення і функціонування складних хімічних сполук та організмів, здійснюється перенесення енергії, накопичення і передача інформаційних потоків, обробка значних обсягів даних тощо. Це реалізується, зокрема, шляхом створення, повторення і накопичення первинних вдалих примітивів та реалізації еволюційних процесів, механізмів розвитку, адаптації, самоутворення і самоліквідації [119]. Зрозуміло, що це примітивне подання складних природних процесів і механізмів, але їх відображення у СЗОІ через методи синергетики у вигляді ситуаційних механізмів, фрактальних структур, алгоритмів самоорганізації тощо дозволяє припустити можливість забезпечення сформованих вимог до системи збору і обробки інформації в сучасних великих АСУВЗ [57].

1.3. СИТУАТИВНИЙ СИНТЕЗ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ Й ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ

З урахуванням вищезазначеного реалізацію процесу структурно-параметричного синтезу пропонується провести за ідеологією ситуаційного управління [117]. Суть цього процесу для СЗОІ полягає у створенні опису системи із сукупності базових елементарних примітивів (фракталів) та їх розширення залежно від ієрархічного рівня АСУВЗ. У результаті формується інформаційна модель системи, яка має відкриту архітектуру, завершеність (без жорсткої статичності у структурі) для певного рівня ієрархії, але з можливістю доповнення з появою нових потреб і запитів (відповідно до виниклої КС), інваріантно до рівня управління. Для відомого на відповідному рівні ієрархії управління переліку елементів, їх параметрів, зв'язків між ними та властивостей здійснюється ситуаційний синтез структури СЗОІ як найкращого варіанта побудови (структури) підсистеми реагування на конкретну КС. У результаті формуються і циклічно (за Бойдом) функціонують підсистеми СЗОІ, що у межах інформаційної моделі системи послідовно-паралельно відпрацьовують значну щільність КС та декомпозиційних інформаційних потоків в умовах значної динаміки зміни поточної обстановки. Фактично таким чином реалізується ситуаційне управління структурою та параметрами СЗОІ в умовах значної інформаційної надмірності результатів моніторингу, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної ситуації.

Таким чином, *методологію ситуаційного синтезу структури автоматизованої системи збору та обробки інформації від технічних засобів моніторингу* пропонується подати сукупністю етапів:

1. Формування інформаційної моделі СЗОІ на базі фрактальних структур.

2. Виявлення (отримання) та ідентифікація поточної КС.

3. Ситуативний структурно-параметричний синтез СЗОІ відповідно до КС, що виникла та ідентифікована.

4. Оцінювання ефективності результатів ситуативного синтезу структури СЗОІ і корегування за необхідності результатів виконання п.п. 2,3.

5. Повторення п.п.3, 4 для іншої виниклої КС.

Для формування *інформаційної моделі СЗОІ* встановлено вимоги до її властивостей:

опис динаміки зміни структури СЗОІ з інваріантністю до рівнів управління та споживачів інформації (виконавчих елементів);

запровадження фрактально-графової структури для реалізації властивостей її наслідування, інкапсуляції та поліморфізму з розвитком і модифікацією залежно від інформаційної надмірності результатів моніторингу, щільності потоку КС та динаміки зміни поточної ситуації;

прогностичні властивості моделі у визначенні вимог до складу елементів СЗОІ відповідного рівня управління, споживачів інформації із забезпеченням високих показників оперативності, достовірності і повноти вихідної інформації.

Математичне подання інформаційної моделі базується на формальному описі елементів СЗОІ, відповідно до структури рис. 1.1.

Першопричиною формування інформаційної моделі та ситуаційного конфігурування СЗОІ є КС. Її опис реалізується у такий спосіб. Нехай i -а ($i = 1 \dots I$) КС – KS_i характеризується множиною (формуляром), що полягають із трійки: P_{ks} – ознака КС, що становить унікальну для кожного її типу літерно-цифрову комбінацію; T_{ks} – множина (перелік) частинних завдань системи з усунення виниклої ситуації (формується виходячи із завдань системи в цілому й завдань окремих АРМ); I_{ks} – множина (перелік) інформаційних потреб системи з усунення КС. Тоді *формуляр* КС задається множиною

$$KS_i = \{P_{ks\ i}, T_{ks\ j}^{KS}, I_{ks\ f}^{KS}\}, i = 1 \dots I, j = 1 \dots J, f = 1 \dots F. \quad (1.1)$$

У свою чергу, множину частинних завдань з усунення КС і перелік інформаційних потреб для i -ї КС можна представити у вигляді підмножин:

$$T_{ks\ j}^{KS} = \{T_{ks\ i1}, T_{ks\ i2}, T_{ks\ i3}, \dots, T_{ks\ il}, \dots, T_{ks\ iL_i}\}, L = 1 \dots L_i, \quad (1.2)$$

$$I_{ksf}^{KS} = \{I_{ks i1}, I_{ks i2}, I_{ks i3}, \dots, I_{ks ik}, \dots, I_{ks iK_i}\}, k = 1 \dots K_j.$$

Опис системи обробки інформації реалізується для кожного її окремого елемента (АРМ) як технічної системи. Кожне АРМ характеризується множиною (формуляром АРМ) із переліку завдань та інформаційних потреб

$$ES_j = \{T_{ksj}^{ES}, I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ID})\}. \quad (1.3)$$

Функціональне позначення $I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ES})$ характеризує взаємозв'язок інформаційних потреб j -го АРМ, забезпечуваних інформаційними можливостями f -го ІД.

Опис ТЗМ характеризується множиною пар (формуляром ТЗМ): I_{ks}^{ID} – перелік (множина) інформаційних можливостей ТЗМ; TX – перелік (множина) технічних характеристик (ТХ) ТЗМ, що забезпечують його можливості:

$$ID_f = \{I_{ksf}^{ID}, TX_f\}. \quad (1.4)$$

Таким чином, на понятійному рівні здійснений формальний математичний опис складових СЗОІ.

Формування інформаційної моделі СЗОІ на базі фрактальних графодинамічних структур забезпечує використання їх властивостей: самоподібності, дробової розмірності, масштабної інваріантності, ієрархічності [130] – для забезпечення визначених вимог до моделі системи. Опис СЗОІ реалізується інформаційним фракталом у складі: площина ІД; площина автоматизованої системи збору та обробки інформації, у складі відповідних АРМ (1.3); ТЗМ, що описується відповідним формуляром (1.4). Безпосередньо фрактал описується графом, а динамічні властивості відображаються графодинамічною структурою. Реалізація (опис) процесів формування фрактального графа, його зміна, розвиток, модифікація, інформаційні відносини складових здійснюються з використанням операцій: копіювання графа; введення ребра, що зв'яже виділену пару вершин (з'єднання); розбиття ребра з уведенням додаткової вершини тощо [130].

Фрактальний граф є асимптотичним геометричним об'єктом, виконання послідовних кроків індуктивної чи дедуктивної побудови якого дає послідовність ієрархічних структур (передфрактальний та фрактальний графи). Індуктивне (від первинного до верхнього рівнів ієрархії) визначення графів полягає у послідовності операцій утворення передфрактального (ініціатора) $H=(W, Q)$ і фрактального $G=(V, E)$ графів з V, W вершин та E, Q ребер [106]. Так, якщо за ініціатор $H=(W, Q)$ обрати

сукупність типів ТЗМ, відповідних ІД, інформаційно замкнених на відповідну структурну одиницю (АРМ) системи обробки інформації (див. рис. 1.1), то матимемо передфрактал, який ілюструється структурою рис. 1.2.

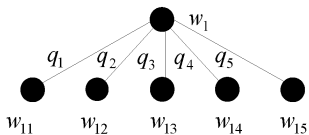


Рис. 1.2.

На базі передфракталу $H=(W, Q)$

формується фрактальний граф (рис. 1.3), наприклад трирівневої структури шляхом застосування до передфракталу послідовності операцій над графами.

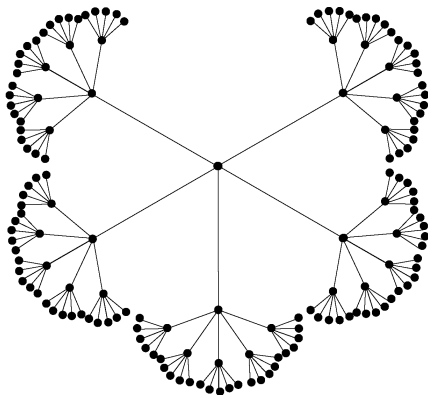


Рис. 1.3

Адекватний фрактальний опис усіх складових СЗОІ потребує побудови багат шарового графа за послідовністю [11, 12]: визначення рівнів системи (див. складові СЗОІ за рис. 1.1); опис складових одновимірними фрактальними графами (індуктивний опис передфракталу та фракталу); виділення міжелементних зв'язків та їх опис методами міжграфових відношень. Багат шарова фрактально-графова структура СЗОІ за елементами (див. рис. 1.1) з урахуванням результатів формування передфракталу і фракталу (див. рис. 1.2, 1.3 відповідно) складатися з 4 шарів (підграфів): G^1 – підграф множини ІД на ОМ, G^2 – підграф множини ТЗМ, категоризованих за належністю до складових системи обробки інформації, G^3 – підграф множини АРМ системи обробки інформації, G^4 – підграф споживачів

(виконавчих елементів). Результатом є багат шарова фрактально-графова інформаційна модель (рис. 1.4).

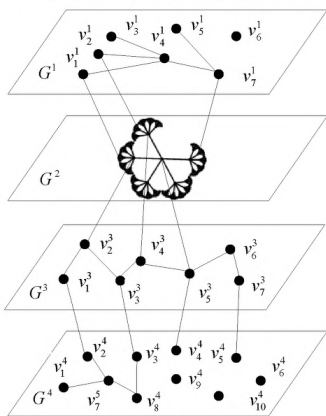


Рис. 1.4

інформаційні зв'язки СЗОІ через ребра відповідних графів. Застосування фрактально-графових операцій для отримання багат шарової математичної інформаційної моделі СЗОІ запропонованим способом та опис процесів, що відбуваються в системі, відповідними диференціальними моделями дасть фрактальну графодинамічну модель для опису динаміки зміни процесів у системі. Загалом це забезпечить отримання задекларованих раніше властивостей СЗОІ.

Сформована таким чином інформаційна фрактальна графодинамічна модель забезпечує формування надмірної структури СЗОІ для заданого рівня ієрархії управління, ІД та виконавчих елементів, на якій реалізується надалі ситуативний динамічний синтез системи, а фактично – процес ситуативного управління структурою і параметрами системи збору та обробки інформації.

Етап *ідентифікації поточної КС* реалізується у ході обробки інформації та для етапу синтезу структури і визначення параметрів СЗОІ вважається реалізованим.

Ситуативний структурно-параметричний синтез СЗОІ відповідно до ідентифікованої КС реалізується з визначенням кількісної і якісної структури системи. Кількісний склад системи визначається відповідно до оптимізаційної моделі, отриманої шляхом зведення вектора суперечливих критеріїв оптимальності до єдиного функціоналу за нелінійною схемою компромісів у розв'язанні багатокритеріальної оптимізаційної задачі:

Для графа G^1 вершинами $v_k^1 \in \text{ІД}$, які об'єднані ребрами r_k^1 та утворюють дерева, що характеризують ОМ, їх ієрархічну структуру. У графі G^2 вершини – ТЗМ, узагальнені за належністю до складових системи обробки інформації, а ребра показують фізичні зв'язки між цими засобами. Графом G^3 представлено наявні АРМ системи обробки інформації, а також інформаційні потоки між ними (ребра графа). Вершини графа G^4 показують користувачів інформації та з'єднуються ребрами відповідно до їх ієрархічних зв'язків. Ребра, що з'єднують вершини з різних шарів, відображають внутрішні та зовнішні

$$F(N_{ARM}) = (1 - t_{ks0}(N_{ARM}))^{-1} + (1 - D_{ks0}(N_{ARM}))^{-1} + (1 - ID_{ks0}(N_{ARM}))^{-1} \rightarrow \min, \quad (1.5)$$

де залежними від кількості АРМ N_{ARM} , нормованими до мінімізованої форми частинними критеріями є: $t_{ks0}(N_{ARM})$ – час, що витрачається на усунення КС; $D_{ks0}(N_{ARM})$ – достовірність рішень, що формуються для усунення КС; $ID_{ks0}(N_{ARM})$ – характеристика інформаційної надмірності системи, що синтезується. Кількість АРМ визначає також кількість інших складових СЗОІ через міжрівневі зв'язки графодинамічної фрактальної інформаційної моделі системи.

Якісний склад системи визначається виходячи з вимог найкращого відображення в її структурі виниклої КС. При цьому оптимальною буде структура, що забезпечує: виконання найбільшої кількості функцій АРМ із заданих формуляром КС $T_{Sj} \rightarrow \max$; найбільшу кількість використуваних для усунення КС ІД $I_{Sj} \rightarrow \max$ з найкращими ТХ $TX_{Sj} \rightarrow \max$. Операція конфігурування реалізується відповідно до оптимізаційної моделі

$$\Psi_j = GT_{j0}(1 - T_{Sj0})^{-1} + GI_{j0}(1 - I_{Sj0})^{-1} + GTX_{j0}(1 - TX_{Sj0})^{-1} \rightarrow \min. \quad (1.6)$$

Як вагові коефіцієнти використовуються параметри GT_j , GI_j , GTX_j , що відображають значущість АРМ за параметрами T_{Sj} , I_{Sj} , TX_{Sj} .

Оцінювання ефективності результатів ситуативного синтезу структури СЗОІ шляхом розрахунку та оцінювання величини узагальненого показника – ступеня відображення у синтезованій системі вимог КС. Це реалізується з контролем виконання умови $\Omega_{ks\,POR}^{\min} \leq \Omega_{ks} < \Omega_{ks\,POR}^{\max}$, де $\Omega_{ks\,POR}^{\min}$, $\Omega_{ks\,POR}^{\max}$ – радіуси внутрішньої і зовнішньої сфер із центром у точці W (рис. 1.5) поверхонь, які розмежовують області виконання (позначка 1) і невиконання (позначка 2) системою цільових задач.

На рис. 1.5 позначено: W_{rW} – необхідний вектор рішень, що визначається формуляром КС і характеризує вимоги до системи з відображення в її структурі поточної ситуації; W_{rS} – забезпечуваний вектор рішень, що характеризує ступінь відображення у структурі синтезованої системи КС; P_{ksW} , P_{ksS} – ознака КС, встановлена вимогами до системи і забезпечувана синтезованою системою відповідно; I_{ksW} , I_{ksS} – потрібні і забезпечувані інформаційні потреби

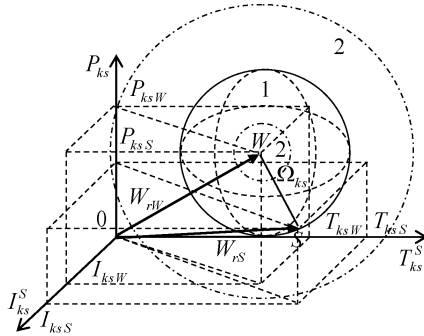


Рис. 1.5

системи; T_{ksW}, T_{ksS} – необхідні і виконувані конфігурованою системою задачі усунення КС; $\Omega_{ks} = \sqrt{(T_{ksW} - T_{ksS})^2 + (P_{ksW} - P_{ksS})^2 + (I_{ksW} - I_{ksS})^2}$ – відхилення системи [24].

Обробка інформації має на меті реалізацію двох класів задач: *загальносистемного спрямування*:

- 1) виявлення та ідентифікація виниклої конфліктної ситуації;
- 2) формування та реалізація команд внутрішнього ситуаційного управління;
- 3) вироблення рішень на усунення КС і формування команд управління виконавчим елементам (реалізується на підставі результатів реалізації етапів 1 – 2);

цільового спрямування:

- 4) визначення координат ОМ (наземного, надводного, повітряного, космічного) та параметрів його руху;
- 5) ідентифікація ОМ (класифікація) за типом, визначення його тактико-технічних характеристик, належності до групи об'єктів моніторингу тощо;
- 6) встановлення характеру поточних дій ОМ, прогнозування його можливого стану і подальшого характеру дій окремо та в групі, визначення його можливостей (спроможностей), сильних та слабких сторін тощо.

Для розв'язання зазначених задач слід використовувати сукупність фактів, даних, суджень про ОМ, потік неформалізованої інформації та поточну ситуацію, яка характеризується значною інформаційною надмірністю, високою щільністю потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки.

Методологічно сформульовані завдання обробки інформації зводяться до трьох етапів: сумісна траєкторна обробка вимірів (експериментальних вибірок) від різнотипних ІД; ідентифікація КС та ОМ; формування аналітичного висновку про поточну ситуацію та прийняття рішення на формування команд управління виконавчим елементам (споживачам).

Сумісна траєкторна обробка вимірів від різнотипних ІД потребує об'єднання різнорідних та несинхронізованих експериментальних вибірок. Положення динамічного ОМ у просторі однозначно характеризується вектором шести параметрів у геоцентричній системі координат (ГСК) \bar{b} , який визначається за вектором вимірних параметрів у пунктовій системі координат (ПСК) \bar{a} із однозначним зв'язком

$$\bar{a} = F\bar{b}, \quad (1.7)$$

або з уведенням позначень моделей зміни координат динамічного об'єкта у ПСК – $A(t)$ та у ГСК – $B(t)$ матимемо:

$$A(t) = F(B(t)), \quad (1.8)$$

де F – узагальнена матриця переходу від вектора (моделі зміни) координат у ГСК до вектора параметрів (моделі) у ПСК.

Аналітичні моделі, що входять до (1.8) та описують рух одного й того ж об'єкта в різних системах координат, формуються у такий спосіб.

Модель руху цілі в ГСК (теоретична модель) формується у вигляді розв'язання диференціального рівняння (ДР), отриманого за методом диференціально-тейлорівських (ДТ) перетворень [122]

$$P \left\{ \frac{d^m B(t)}{dt^m} + \dots = f_B(t, B(t)) \right\} = \frac{(k+m)!}{k! H^m} B(k+m) + \dots = F_B(k, B(k)), \quad (1.9)$$

де $B(k)$, якщо $k=0,1$, – шукані початкові умови руху динамічного об'єкта (координата і швидкість) у ГСК. Згідно з оберненими ДТ перетвореннями матимемо модель руху ОМ у ГСК

$$B(t) = P^{1-} \{B(k)\} = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k B(k). \quad (1.10)$$

Модель (1.9) у ПСК, подана диференціальним спектром (ДС) із тейлорівським базисом, виглядає так:

$$A(t) = \sum_{j=0}^L A_j t^j. \quad (1.11)$$

Початковою інформацією для визначення аналітичних моделей у ПСК є вибірки дискретних значень за певною координатою

$$\bar{a} = \{a_1, a_1, \dots, a_n\}. \quad (1.12)$$

За вибірками (1.12), з використанням одного з відомих статистичних методів [129] формуються поліноміальні (експериментальні) моделі

$$\hat{A}(t) = \sum_{j=0}^L \hat{A}_j t^j, \quad (1.13)$$

де $\hat{A}_0, \hat{A}_1, \hat{A}_2, \dots$ – коефіцієнти полінома.

Відповідно до методу балансу диференціальних спектрів для моделей (1.11) і (1.13) матимемо систему рівнянь

$$P\{A(t)\}_t^* \Rightarrow A(k) = \hat{A}(k) \Leftarrow P\{\hat{A}(t)\}_t^*. \quad (1.14)$$

Сформована система дозволяє отримати вектор початкових умов руху цілі за обмеженим складом вимірних параметрів в однопозиційній системі з урахуванням часової надмірності експериментальних даних. Для багатопозиційної системи маємо сукупність частинних систем вигляду (1.14) за кількістю вимірювачів d .

$$P\{A_i(t)\}_t^* \Rightarrow A_i(k) = \hat{A}_i(k) \Leftarrow P\{\hat{A}_i(t)\}_t^*, \quad i=1\dots d. \quad (1.15)$$

У сформованій системі врахована як параметрична, так і часова надмірність вимірюваних даних. Інформаційне об'єднання вимірювачів у БПС із використанням системи (1.15) не критичне до вимог когерентності їх роботи у часі і просторі, оскільки процес об'єднання здійснюється на рівні моделей руху об'єкта спостереження.

Ідентифікація КС та об'єктів моніторингу здійснюється з упровадженням принципів самоорганізації та базується на описі ОМ множиною $R = \{R_1, R_2, \dots, R_i\}$ $i=1\dots n$ із ознаками:

факти $F = \{F_1 \{f_{11}, \dots, f_{1j}\}, F_2 \{f_{21}, \dots, f_{2j}\}, \dots, F_i \{f_{ij}\}\}$, $j=1\dots m_1, m_2, \dots, m_i$,

дані $D = \{D_1 \{d_{11}, \dots, d_{1l}\}, D_2 \{d_{21}, \dots, d_{2l}\}, \dots, D_i \{d_{il}\}\}$, $l=1\dots L_1, L_2, \dots, L_i$,

судження $S = \{S_1 \{s_{11}, \dots, s_{1k}\}, S_2 \{s_{21}, \dots, s_{2k}\}, \dots, S_i \{s_{ik}\}\}$, $k=1\dots K_1, K_2, \dots, K_i$.

Тоді ОМ характеризується априорною множиною ознак

$$R_i \subset F_i \{f_{ij}\} \cup D_i \{d_{il}\} \cup S_i \{s_{ik}\} = \{F_i \{f_{ij}\}, D_i \{d_{il}\}, S_i \{s_{ik}\}\} = R_i. \quad (1.16)$$

У процесі спостереження за об'єктами з метою їх ідентифікації формується апостеріорна множина ознак

$$W = \left\{ \begin{array}{l} F = \left\{ \hat{F}_1 \{ \hat{f}_{11}, \hat{f}_{12}, \dots, \hat{f}_{1j} \}, \hat{F}_2 \{ \hat{f}_{21}, \hat{f}_{22}, \dots, \hat{f}_{2j} \}, \dots, \hat{F}_i \{ \hat{f}_{ij} \} \right\}, \\ D = \left\{ \hat{D}_1 \{ \hat{d}_{11}, \hat{d}_{12}, \dots, \hat{d}_{1l} \}, \hat{D}_2 \{ \hat{d}_{21}, \hat{d}_{22}, \dots, \hat{d}_{2l} \}, \dots, \hat{D}_i \{ \hat{d}_{il} \} \right\} \\ S = \left\{ \hat{S}_1 \{ \hat{s}_{11}, \hat{s}_{12}, \dots, \hat{s}_{1k} \}, \hat{S}_2 \{ \hat{s}_{21}, \hat{s}_{22}, \dots, \hat{s}_{2k} \}, \dots, \hat{S}_i \{ \hat{s}_{ik} \} \right\} \end{array} \right\} = \quad (1.17)$$

$$= \left\{ \hat{F}_i \{ \hat{f}_{ij} \}, \hat{D}_i \{ \hat{d}_{il} \}, \hat{S}_i \{ \hat{s}_{ik} \} \right\}$$

Після трансформації множин (1.16), (1.17) до монотонного ряду формуються їх поліноміальні апіорні (1.18) та апостеріорні (1.19) моделі

$$f_j(N) = f_0 + f_1 N + f_2 N^2 + \dots, \quad d_l(N) = d_0 + d_1 N + d_2 N^2 + \dots, \quad (1.18)$$

$$s_k(N) = s_0 + s_1 N + s_2 N^2 + \dots,$$

$$\hat{f}_j(N) = \hat{f}_0 + \hat{f}_1 N + \hat{f}_2 N^2 + \dots, \quad \hat{d}_l(N) = \hat{d}_0 + \hat{d}_1 N + \hat{d}_2 N^2 + \dots, \quad (1.19)$$

$$\hat{s}_k(N) = \hat{s}_0 + \hat{s}_1 N + \hat{s}_2 N^2 + \dots.$$

Останні (моделі (1.18), (1.19)) обробляються з метою виключення аномалій, вимірювань, що не належать вибірці (1.16). У результаті маємо моделі:

$$\hat{f}'_j(N) = \hat{f}'_0 + \hat{f}'_1 N + \hat{f}'_2 N^2 + \dots, \quad \hat{d}'_l(N) = \hat{d}'_0 + \hat{d}'_1 N + \hat{d}'_2 N^2 + \dots, \quad (1.20)$$

$$\hat{s}'_k(N) = \hat{s}'_0 + \hat{s}'_1 N + \hat{s}'_2 N^2 + \dots.$$

Аргументом N є абстрактний аналоговий процес, що описується в дискретній формі рядом чисел (сіткою вимірювань – $N = 1, 2, 3, \dots$). Ознакою відповідності моделей (1.18), (1.19) образу (1.16) є мінімізація величини різниці площ фігур, обмежених моделями та інтервалами їх розгляду – $\max \delta < (\delta' < \delta) < \min \delta$. Значення $\max \delta$ визначається за наявності в експериментальній вибірці випадкових помилок і понад 50% аномалій, величина $\max \delta$ визначається тільки за наявності випадкових помилок. Параметри δ δ' розраховуються як різниця інтегралів

$$\delta = \left[\int_{N_1}^{N_n} f_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}_j(N) dN \right]^2, \quad (1.21)$$

$$\delta' = \left[\int_{N_1}^{N_n} f'_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}'_j(N) dN \right]^2.$$

Об'єднання всіх категорій ознак для ідентифікації ОМ здійснюється із застосуванням технології вкладених згорток за нелінійною схемою компромісів. Після згортки формуються узагальнені ознаки для кожного R_i -го ОМ з апіорної множини ознак P_{Ei} і заздалегідь ідентифікованих ознак з апостеріорної множини P_i :

$$\begin{aligned}
 P_{Ei} &= \sum_{j=1}^{m_i} \gamma_{f_{0ij}} [1 - f_{0ij}]^{-1} + \sum_{l=1}^{L_i} \gamma_{d_{0il}} [1 - d_{0il}]^{-1} + \sum_{k=1}^{K_i} \gamma_{s_{0ik}} [1 - s_{0ik}]^{-1}, \\
 P_i &= \sum_{j=1}^{m_i} \gamma_{\hat{f}_{0ij}} [1 - \hat{f}_{0ij}]^{-1} + \sum_{l=1}^{L_i} \gamma_{\hat{d}_{0il}} [1 - \hat{d}_{0il}]^{-1} + \sum_{k=1}^{K_i} \gamma_{\hat{s}_{0ik}} [1 - \hat{s}_{0ik}]^{-1}.
 \end{aligned}
 \tag{1.22}$$

Числові значення міри відповідності ОМ узагальненим даним образу визначаються так:

$$W_1 = \frac{P_1}{P_{E1}}, W_2 = \frac{P_2}{P_{E2}}, \dots, W_i = \frac{P_i}{P_{Ei}}, \dots, W_n = \frac{P_n}{P_{En}}.
 \tag{1.23}$$

Рішення про ідентифікацію приймається за умови $W_i > 0,5$. Самоорганізація виявляється у наближенні апіорних та апостеріорних моделей ознак, що істотно підвищує продуктивність цього процесу в умовах значної інформаційної надмірності даних [109].

Формування аналітичного висновку про поточну ситуацію та прийняття рішення на формування команд управління виконавчим елементам (споживачам) потребує комплексного розгляду результатів траєкторної обробки, ідентифікації ОМ разом із отриманими первинними фактами, даними, судженнями та неформалізованими інформаційними потоками. Результатом цього процесу мають бути аналітичні висновки про стан, характер поточних і прогнозованих дій ОМ окремо чи в групі, його спроможності, уразливість тощо. За характером інформація для аналітичної обробки є експериментальною та суб'єктивною і носить статистичний та нечіткий характер невизначеності відповідно [32, 126]. Аналітичне формування висновків за різномірною надмірною інформацією пропонується реалізувати шляхом побудови і використання ієрархічного дерева логічного висновку [126]. Базова структура логічного дерева для інфології фактів, даних, суджень може мати, наприклад, модель типу (1.16), а графічно-логічний опис з урахуванням неформалізованих інформаційних потоків у вигляді рис. 1.6.

Інформаційною основою для вузлів логічного дерева є база знань, що формується у процесі розробки і тестування програмно-алгоритмічної складової СЗОІ, а розрахунково-логічна складова – суть обчислювального алгоритму інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень системи збору та обробки інформації.

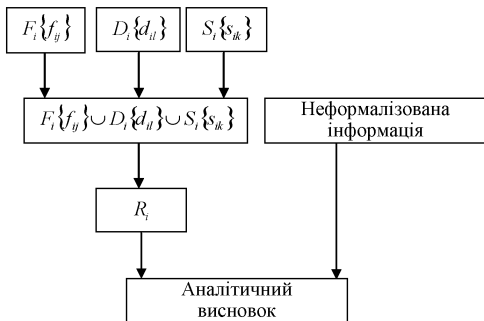


Рис. 1.6

На підставі викладеного можна сформулювати кілька базових висновків.

Побудова СЗОІ сучасних АСУВЗ повинна забезпечувати ефективне виконання цільових задач в умовах значної інформаційної надмірності, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки. Це реалізується за принципами: впровадження ідеології відкритих, розподілених, інформаційно-керуючих систем, інваріантних за своєю структурою до рівня управління; використання технологій захищених мереж та принципів уніфікації складових і взаємозаміщення; впровадження циклічності Бойда на всіх рівнях ієрархії управління; динамічних властивостей у ситуативній структурно-параметричній адаптивності (реконфігурації) та нарощування; забезпечення високих показників оперативності, достовірності і повноти вихідної інформації.

Функціонування СЗОІ слід будувати на ситуативному принципі управління її структурою та параметрами шляхом формування і застосування багатшарової фрактально-графової інформаційної моделі системи збору та обробки інформації від технічних засобів моніторингу. Така модель відповідатиме властивостям: опису динаміки зміни структури СЗОІ з інваріантністю до рівнів управління та споживачів; інкапсуляції та поліморфізму структур із розвитком і модифікацією; прогнозування вимог до складу елементів відповідного рівня управління і споживачів.

Обробка інформації у СЗОІ включає етапи: загальносистемного спрямування (виявлення та ідентифікація КС, формування та реалізація команд внутрішнього управління; вироблення рішень на усунення КС і формування команд управління виконавчим елементами); цільового спрямування (визначення координат ОМ та параметрів руху, ідентифікація ОМ, встановлення характеру поточних дій ОМ, прогнозування його можливого стану). Їх реалізація пропонується з використанням методу сумісної

обробки вимірів, моделей самоорганізації та дерев логічного висновку із статистичними та нечіткими підходами до обробки вихідних даних.

Зазначені підходи забезпечують реалізацію процесів ситуативного синтезу структури та обробки даних в автоматизованій СЗОІ від технічних засобів моніторингу в умовах значної інформаційної надмірності, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки.

1.4. СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ І ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ

На сьогодні у багатьох сферах діяльності людини актуальною є задача створення розподілених автоматизованих систем збору та обробки інформації (АСЗОІ) від різноманітних технічних засобів моніторингу. Системи моніторингу (СМ) розрізняють за призначенням та за об'єктами моніторингу. Прикладами таких систем є: системи моніторингу об'єктів критичної інфраструктури, радіомоніторингу, моніторингу стану довкілля, моніторингу інформаційного простору та інші. Система моніторингу є складовою частиною національної інформаційної інфраструктури, сумісної з аналогічними системами інших країн.

Одним із ключових етапів створення системи є побудова її інформаційної моделі – сукупності відомостей про структуру та регламент функціонування цієї системи.

Відомі підходи до побудови структур складних систем базуються здебільшого на формуванні статичної структури системи, незмінної у процесі її функціонування і застосування. При цьому завдання і функції системи, як правило, рівномірно розподіляються між усіма її складовими. На збільшення інтенсивності надходження інформації система реагує збільшенням елементів структури за відповідними рівнями, що породжує, у свою чергу, інформаційну надмірність даних для обробки [41, 143].

Однак сучасні умови розвитку складних ієрархічних систем вимагають від таких систем здатності розвиватись, адаптуватись та оптимізувати свою структуру під конкретні задачі [5, 103]. Процеси зміни структури складних ієрархічних систем, її оптимізації прийнято називати загальним терміном “структурна динаміка”. Одним із інструментів для моделювання систем, яким властива структурна динаміка, є фрактальні графи [103, 130]. Поява фрактальних графів є результатом синтезу ідей синергетики, нелінійної динаміки, фракталів та теорії графів [11, 52, 85, 106]. Побудові фрактальних та передфрактальних графів, а також їх застосуванню для опису структур складних систем присвячені праці Кочкарова А. М., Перепелиці В. О., Семенова А. С. та інших учених. Однак у відомих працях не знайшли відображення процес побудови та адаптації саме АСЗОІ від ТЗМ, здебільшого розглядаються різноманітні телекомунікаційні мережі загального користування.

Тому метою розділу є побудова інформаційної моделі системи збору та обробки інформації від технічних засобів розвідки на основі опису

структури системи за допомогою фрактального графа.

Для опису АСЗОІ від ТЗМ та побудови її інформаційної моделі необхідно охарактеризувати елементи системи, описати зв'язки між ними та надати характеристику зовнішнім елементам, з якими взаємодіє система.

Основними елементами АСЗОІ від ТЗМ є: технічні засоби моніторингу; центри (пункти) обробки інформації різного рівня.

Зовнішніми елементами, з якими взаємодіє система, є: інформаційні джерела, що характеризують окремі об'єкти розвідки або їх сукупність та відрізняються для кожного виду розвідки; споживачі інформації.

В ході побудови інформаційних моделей складних систем великої розмірності, до яких належить і АСЗОІ, виникає необхідність адекватного опису їхньої складної структури. Якщо досліджувана система складається з великої кількості складних взаємодіючих між собою частин і поведінка системи істотно залежить від структури зв'язків між цими частинами, то необхідно враховувати цю взаємодію у процесі побудови моделі. Таким моделям (об'єктам) властивий особливий вид хаосу, пов'язаний із неможливістю (або складністю) точного опису всіх існуючих зв'язків у кожний момент часу. Такий хаос називають структурним. Як засіб моделювання структурного хаосу у праці [106] пропонується використовувати фрактальний граф.

Основою для побудови загальної інформаційної моделі системи має стати її структурна модель, що описує сукупність елементів системи та взаємозв'язки між ними. Використовуючи як основу структури передфрактальний граф, було побудовано модель, зображену на рис. 1.7.

Ця структура є базовою для системи та змінюється залежно від конкретної ситуації шляхом детального розкриття вільних («висячих») вершин, що відповідають видам технічних засобів моніторингу. Вільні вершини заміщуються структурами, які відповідають множині ТЗМ, що буде задіяна для вирішення поточного завдання системи. Об'єднуватись та утворювати відповідні структури можуть будь-які вершини, що відповідають як однорідним ТЗМ, так і ТЗМ різних видів. Позначення, застосовані у структурній моделі, наведені у табл. 1.1.

Цифровий код типів ТЗМ формується так: перша цифра коду відповідає виду моніторингу, друга – регіону розміщення засобів, третя та четверта – визначають тип ТЗМ. Для позначення конкретного екземпляра ТЗМ використовується ще 4 цифри: п'ята та шоста цифри показують найменування екземпляру ТЗМ, а сьома та восьма – його порядковий номер у відповідному регіоні.

Застосування передфрактального графа як основи структурної моделі АСЗОІ дозволяє використовувати властивості фракталів, такі як самоподібність та масштабна інваріантність. Фрактальні графи є особливим видом фракталів, які у [83] називають позапросторовими.

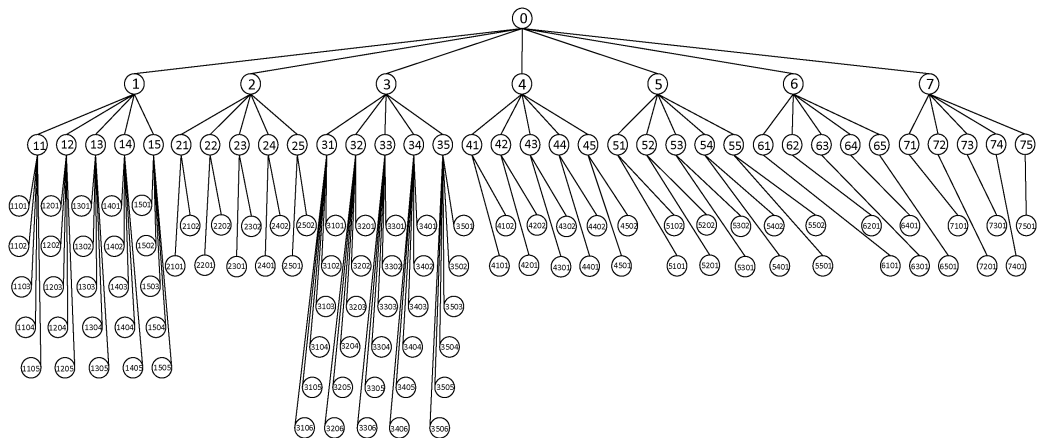


Рис. 1.7

Позначення, наведені в структурній моделі

Позначення	Значення
0	Головний центр обробки інформації
1	Центр обробки інформації оптичного та оптико-електронного моніторингу
2	Центр обробки інформації акустичного та гідроакустичного моніторингу
3	Центр обробки інформації радіомоніторингу
4	Центр обробки інформації хімічного та радіаційного моніторингу
5	Центр обробки інформації комп'ютерного моніторингу
6	Центр обробки інформації сейсмічного моніторингу
7	Центр обробки інформації магнітометричного моніторингу
*1	Центр обробки інформації "Захід"
*2	Центр обробки інформації "Схід"
*3	Центр обробки інформації "Центр"
*4	Центр обробки інформації "Північ"
*5	Центр обробки інформації "Південь"
1*01	Спостережні оптичні прилади
1*02	Фотографічні системи різного базування
1*03	Телевізійні системи
1*04	Тепловізори, тепlopеленгатори, радіометри
1*05	Лазерні далекоміри та локатори
2*01	Гідролокатори
2*02	Шумопеленгатори
3*01	Радіоприймальні пристрої
3*02	Станції радіотехнічного моніторингу
3*03	Радіолокаційні станції
3*04	Радіопеленгатори
3*05	Комплекси моніторингу супутникових ліній зв'язку
3*06	Комплекси моніторингу радіорелейних ліній зв'язку
4*01	Дозиметричні, радіометричні, спектрометричні прилади
4*02	Лідари, радіометри, ІЧ-спектрометри
5*01	Комп'ютери зі спеціалізованим програмним забезпеченням (АРМи)
5*02	Програмні закладки та комп'ютерні віруси
6*01	Станції сейсмічного моніторингу
7*01	Магнітні виявлячі

На сьогодні відсутня єдина методика оцінки фрактальної розмірності фрактальних графів. У [37] запропоновано методику розрахунку фрактальної розмірності триангуляційного покриття фрактального графа. В результаті для деревоподібного передфрактального графу отримане значення, що знаходиться в межах 1,1 ... 1,6. Для оцінки фрактальної розмірності позапросторових фракталів у [83] запропоновано метод кластера, що зростає. Суть даного методу полягає в оцінюванні локальних розмірностей графа та отриманні з них значення глобальної розмірності фрактального

графу. Відповідно до методу кластера, що зростає, фрактальна розмірність D_G визначається наступним чином:

$$D_{G_i} = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{\ln(S(R_i))}{\ln(R_i)}, \quad (1.24)$$

де R – розмір кластера (радіус із центром у вибраній вершині графу); $S(R)$ – кількість вершин у радіусі (кластер).

Для розрахунку локальних розмірностей потрібно обрати типові вершини графу. Для графу, зображеного на рис. 1.7, такими є вершини: 0, 1, 2, 3, 6, 11, 21, 31, 61, 1101.

Для знаходження глобальної фрактальної розмірності проведемо усереднення отриманих локальних розмірностей:

$$D_G = \frac{\sum_{i=0}^n D_{G_i}}{n} \approx 1,196.$$

Отримане значення відповідає очікуваному та знаходиться в межах значень, отриманих у [37] для передфрактального деревоподібного графу.

Таким чином, для розрахунку фрактальної розмірності графу можливо застосувати таку узагальнену методичку розрахунку:

1. Вибір типових вершин графу.
2. Розрахунок локальних фрактальних розмірностей типових вершин за виразом (1.24).
3. Розрахунок усередненої фрактальної розмірності графу.

Як зазначалося вище, при виконанні системою конкретного завдання її загальна структура залишається незмінною, змінюються лише елементи системи, залучені до виконання поточного завдання. Такі зміни відображаються шляхом розкриття вільних вершин загального структурного графу АСЗОІ (що відповідає вибору конкретного екземпляра ТЗМ).

Розглянемо такий приклад: нехай мобільній групі моніторингу поставлене завдання щодо моніторингу обстановки на ділянці східного кордону держави. У розпорядженні групи є такі ТЗМ: 2 радіоприймальні пристрої (РПрП), радіолокаційна станція (РЛС) ближньої дії, тепловізійний спостережний прилад (ТСП), безпілотний літальний апарат (БПЛА) для ведення фото- та відеозйомки, нічний бінокль (НБ). Враховуючи задіяні ТЗМ та район виконання завдання, структура активних елементів системи може бути описана графом, зображеним на рис. 1.8. Позначення вершин графу відповідає наведеному у табл. 1.1.

Для графу, зображеного на рис. 1.8, за наведеною вище методикою було розраховане значення фрактальної розмірності $D_G \approx 1,150$.

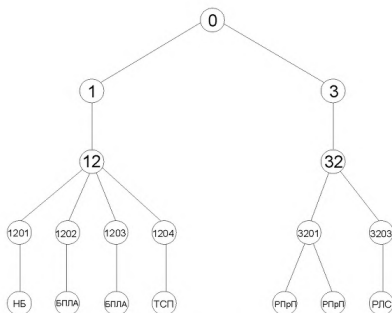


Рис. 1.8

Для побудови структурних моделей активної у даний момент частини АСЗОІ від ТЗМ та розрахунку фрактальних розмірностей графів, що описують цю структуру, було розроблене спеціальне програмне забезпечення (СПЗ). СПЗ забезпечує:

- вибір активних елементів АСЗОІ від ТЗМ;
 - побудову графової моделі активної частини АСЗОІ від ТЗМ;
 - розрахунок фрактальної розмірності графової моделі;
 - накопичення статистики за фрактальними розмірностями;
 - перегляд та редагування бази даних елементів АСЗОІ від ТЗМ.
- Вигляд робочих вікон СПЗ наведено на рис. 1.9, 1.10.

Провівши аналіз фрактальної розмірності графів, можна стверджувати, що ця числова характеристика є унікальною для кожної структури та дає можливість однозначно її ідентифікувати.

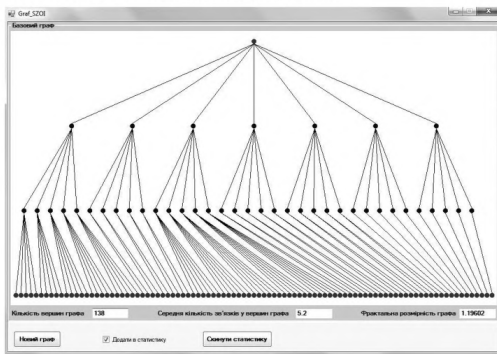


Рис. 1.9

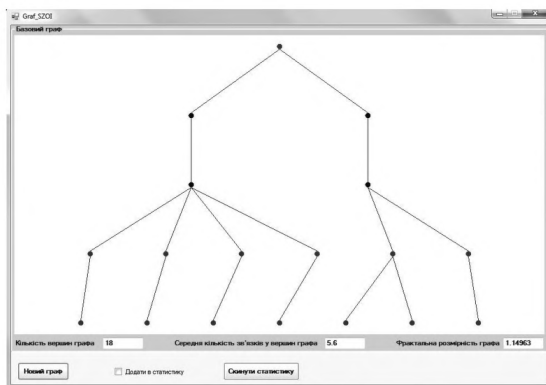


Рис. 1.10

Таким чином, побудована графова модель АСЗОІ від ТЗМ дозволяє проводити конфігурування системи залежно від ситуації, використовуючи для ідентифікації структури унікальну величину – фрактальну розмірність. Формування типових структур, їх накопичення у базі даних (знань) дає можливість їх подальшого багаторазового використання. У випадку нетипових ситуацій проводиться ситуаційний синтез структури системи. Побудова математичної моделі ситуаційного синтезу є одним із напрямів подальших досліджень.

Розділ 2. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ СКЛАДНОЇ ЕРГАТИЧНОЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ РЕАГУВАННЯ НА КОНФЛІКТНІ СИТУАЦІЇ

Сучасні завдання керування складними об'єктами вирішуються в умовах динамічної зміни зовнішньої обстановки, супроводжуються аналізом багатьох чинників, обробкою значних інформаційних масивів, що отримуються від різномірних, розподілених у просторі інформаційних джерел (ІД), а також потребують адекватного й актуального реагування на конфліктні ситуації (КС), що виникають при цьому. Прикладом таких інформаційно-керуючих структур можуть бути системи керування повітряним рухом, складними виробничими процесами, військами і зброєю, державними інституціями різного рівня тощо.

Ефективним підходом до вирішення подібних завдань керування може бути застосування складних ергатичних розподілених інформаційно-керуючих систем реагування на КС. Різноманітність та апріорна невизначеність за типом КС потребує використання ситуаційного принципу керування в системах реагування на них [117]. Центральною компонентою таких систем є ситуаційний центр (СЦ), у якому акумулюється інформація від різних ІД, здійснюється її автоматизована обробка і формуються рішення, а також керівні команди для усунення КС, що склалася. При цьому, залежно від змісту і суті контрольованої ситуації, необхідно адаптивно (ситуативно) створювати структурно-параметричну конфігурацію системи керування в цілому з метою: визначення наявних, доступних або доцільних для використання ІД; визначення складу СЦ (керуючої ланки); вибору виконавчих елементів (об'єктів керування) для усунення КС. Процедура конфігурування повинна здійснюватись автоматично і забезпечувати виконання системою вимог: мінімального часу на отримання необхідних даних від ІД; мінімальної ентропії цільової інформації, необхідної для усунення КС; найвищої достовірності отримуваних даних; мінімального часу на вироблення рішення системою в цілому для усунення КС; мінімальної ймовірності помилкового рішення тощо.

2.1. МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО СТРУКТУРНОГО ТА ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ ЕРГАТИЧНОЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ

Завдання конфігурування інформаційно-керуючої системи реагування на КС належить до класу завдань аналізу і синтезу складних систем [13, 18, 27, 33, 36, 102, 117, 134, 143], що передбачає визначення її структури і параметрів. Структурний синтез складних систем досить показово представлений роботами [41–46] і, як правило, включає етапи: формування вимог до системи; вибір її складових та опис порядку їх взаємодії; формування варіантів побудови системи з подальшим визначенням оптимального з них. Прикладом традиційного вирішення завдань параметричного синтезу складних систем є роботи [13, 27, 33]. У класичній постановці розв'язання задачі параметричного синтезу полягає у визначенні параметрів елементів системи заданої структури. Основними недоліками класичних підходів структурного і параметричного синтезу, стосовно системи реагування на КС, є складність їх практичного застосування в разі розгляду різнорідних розподілених систем, а також використання здебільшого однокритеріальних цільових функцій ефективності. В той же час показано, що ефективність вирішення такого класу завдань підвищується із застосуванням методів багатокритеріального аналізу [27, 36].

Виходячи з викладеного, актуальним є завдання розробки методики структурно-параметричного синтезу складної ергатичної розподіленої інформаційно-керуючої системи реагування на конфліктні ситуації з використанням методів багатокритеріального аналізу.

2.2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ СТРУКТУРНОГО ТА ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ ЕРГАТИЧНОЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ

Синтез структури системи потребує визначення універсуму її елементів і відношень між ними [102]. Це забезпечує властивості системи, що задовольняють вимоги синтезу. Отже, універсум елементів M і відношення між ними R визначають універсум властивостей $P = M \times R$, які реалізуються на цих елементах і відношеннях, а декартовий добуток $S = M \times R \times P$ визначає універсум системи S . Конкретна система однозначно визначена, якщо задані під-множини елементів $\mu = \{\mu_1, \dots, \mu_l\}$, $\mu \subset M$, відношення між ними $R = \{R_1, \dots, R_l\}$, $R \subset R$ і властивості $\Phi = \{p_1, \dots, p_k\}$, $\Phi \subset P$. Множини μ , R , Φ є скінченними і підлягають інформаційному опису, якщо визначений рівень деталізації елементів системи.

Параметричний синтез передбачає визначення параметрів елементів системи відомої структури [13]. Математична постановка завдання параметричного синтезу формується таким чином. Нехай сформовані вимоги до системи у вигляді сукупності значень параметрів G_0 (у тому числі критеріальні вимоги до них). Початковими параметрами системи є сукупність характеристик G . Задача параметричного синтезу полягає в знаходженні таких параметрів системи, які задовольняють вимогу $G_l \leq G_{0l}$, $l=1...m$, де G_l , G_{0l} – компоненти множин G і G_0 відповідно, тобто $G_l \in G$, $G_{0l} \in G_0$. Із сукупності критеріальних вимог до G_0 згідно з обґрунтованим правилом формується цільова функція S . Тоді параметри системи визначатимуться з умови мінімізації або максимізації функції S .

Для синтезу структури і визначення параметрів складної ергатичної розподіленої інформаційно-керуючої системи реагування на КС необхідно: сформувати зовнішність системи; визначити її функції; поставити системні вимоги до неї; вибрати складові елементи тощо. Призначення даної системи полягає в реалізації функцій: контролю поточної ситуації з використанням наявних і доступних ІД (штатний режим); виявлення й ідентифікації КС; конфігурування системи відповідно до ситуації, що склалася; формування сценарію дій з її усунення; визначення завдань виконавчим елементам та ІД на усунення і контроль розвитку КС із подальшим переведенням системи у штатний режим функціонування. В цьому випадку пропонується розглядати систему на трьох узагальнених рівнях: ІД; системи обробки інформації та прийняття рішень; споживачів інформації – виконавчих елементів, дії яких спрямовані на усунення КС (рис. 2.1).

Вся система динамічно конфігурується (реалізується її структурно-параметричний синтез) адаптивно (ситуативно) до ситуації, що склалася. Опис компонент системи (рис. 2.1) логічно почати з КС – фактора ініціації конфігурування системи.

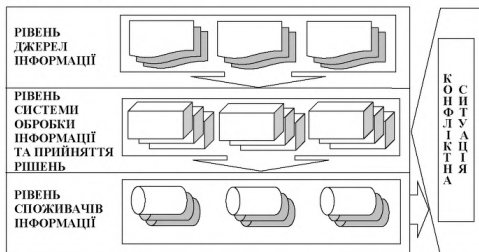


Рис. 2.1

Під *конфліктною ситуацією* для розглянутої інформаційно-керуючої системи розумітимемо сукупність динамічно змінюваних оцінок (результатів аналізу, узагальнення) множини фактів і зв'язків між ними, що складаються з причин і наслідків, залежних від подій, що відбуваються, і процесів, що приводять до конфліктних (складних, фатальних) наслідків для споживачів інформації (об'єкта (об'єктів) керування) [46, 127, 141]. Властивостями КС є: множинність та апіорна невизначеність початкових фактів і даних про неї; істотна динаміка зміни ситуації; значний ризик (фатальність) наслідків її розвитку. Інформація про КС зберігається в заздалегідь сформованій базі даних (БД), яка фізично розміщується на сервері системи обробки інформації і має вигляд формулярів (ситуаційної моделі [139]) із полями: ознака (назва) КС; перелік завдань (дій) системи з усунення ситуації, що виникла; перелік інформаційних потреб для її усунення тощо. База даних формується, виходячи з призначення системи і її можливостей. Перелік завдань системи не повинен перевищувати можливості ІД і складових системи обробки. В процесі експлуатації системи БД КС поповнюється і модифікується. Реалізація процесу ситуаційного управління передбачає ідентифікацію виниклої ситуації шляхом її порівняння з образом КС, що міститься у БД [42, 117]. Методологічні аспекти ідентифікації КС не обговорюються у даному розділі.

Рівень джерел інформації є сукупністю, як правило, різнорідних автономних технічних засобів (вимірювальних (інформаційних) систем, сенсорів, окремих датчиків тощо), а також інших ІД, за допомогою яких формується масив даних, фактів або лінгвістичних характеристик про поточну (зовнішню) ситуацію (обстановку), у тому числі і про КС. Прикладом ІД можуть бути системи радіолокаційного контролю повітряного простору, космічні інформаційні системи (дистанційного зондування Землі, метеорологічні, навігаційні), засоби тепловізійного спостереження, контролю радіочастотного ресурсу, датчики руху тощо – будь-які технічні засоби розвідки (моніторингу або спостереження) різних діапазонів хвиль.

Рівень системи обробки інформації та прийняття рішень, за класичною теорією побудови інформаційно-керуючої системи, є апаратно-програмні засоби із спеціалізованим програмним забезпеченням. Її побудова базується на теорії відкритої архітектури ієрархічних систем із використанням технології ситуаційного керування, що потребує використання як базового елемента обробки інформації й прийняття рішень – СЦ [117, 139]. Ситуаційний центр – це комплекс програмно-технічних засобів, що забезпечують моніторинг поточної обстановки, накопичення й обробку цільової інформації, підтримку прийняття управлінських рішень

посадовими особами в разі виникнення (виявлення) певних подій або КС [139]. Силами і засобами СЦ забезпечується вирішення низки завдань: моніторинг поточної обстановки і стану об'єктів керування (виконавчих елементів) (прогнозування розвитку КС на основі поточної інформації, моделювання наслідків керування з використанням інформаційно-аналітичних систем, експертна оцінка управлінських рішень та їх оптимізація); керування усуненням КС, а також складними організаційно-технічними системами; реалізація процесу віддаленого керування і контролю усунення КС із використанням виносних (мобільних) пунктів тощо. Типовий СЦ складається із сукупності компонент: інтерфейсу ІД; засобів підтримки прийняття рішень; апаратної підтримки і відображення; оперативного складу. *Інтерфейсом ІД* є сукупність апаратно-програмних засобів отримання даних від ІД про поточну обстановку (ситуацію). В деяких випадках до складу цієї компоненти входять додані до СЦ ІД. *Засоби підтримки прийняття рішень* включають спеціалізоване програмне забезпечення, що реалізує накопичення й обробку інформаційних масивів, аналіз поточної ситуації, виявлення та ідентифікацію КС, формування сценарію дій СЦ, вироблення рішень з усунення КС. У цих засобах використовуються принципи інформаційних і (або) експертних систем, систем підтримки прийняття рішень реального часу, геоінформаційних систем, окремих розрахункових засобів тощо. Засобами апаратної підтримки є сукупність обчислювальних систем – автоматизованих робочих місць (АРМ) – постів, систем зв'язку, телекомунікації, навігації, енергопостачання і життєзабезпечення. *Засоби відображення* включають сукупність засобів індивідуального і колективного відображення інформації у СЦ (аудіо, відео, графічної тощо). *Оперативний склад* – це оператори-фахівці, які експлуатують СЦ (які працюють на його АРМ) і виконують комплекс завдань із виявлення, контролю й усунення КС. Відповідно до існуючої класифікації надалі розглядатиметься СЦ, що є [42]: *повнофункціональним* (що реалізує функції спостереження, моделювання й аналізу ситуації); *слабодетермінованим* (за ступенем невизначеності поточної ситуації і її стереотипності, а також за рівнем інформаційної підтримки); *кризисним*, оскільки активна фаза його функціонування починається з появою КС; *розподіленим*; з *колективно-індивідуальним способом відображення інформації*.

Рівень споживачів інформації (виконавських елементів) є сукупність сил і засобів, що реалізують упорядкований комплекс дій, спрямованих на усунення КС відповідно до команд управління системи обробки інформації та прийняття рішень. Цей рівень передбачається статичним, із постійним складом і незмінними параметрами, що дозволяє виключити споживачів інформації з процесу структурно-параметричного синтезу.

Надалі здійснюється формалізація завдання структурно-параметричного синтезу системи, починаючи з її математичного опису.

Опис конфліктної ситуації реалізується таким чином. Нехай i -та ($i=1\dots I$) КС – KS_i характеризується множиною (формуляром), що складається з трійки: P_{ks} – ознака КС, що становить собою унікальну для кожного її типу буквено-цифрову комбінацію; T_{ks} – множина (перелік) часткових задач системи з усунення виниклої ситуації (формується виходячи із завдань системи в цілому і завдань окремих АРМ); I_{ks} – множина (перелік) інформаційних потреб системи з усунення КС (узгоджені з можливостями ІД). Тоді формуляр КС задається множиною

$$KS_i = \{P_{ksi}, T_{ksj}^{KS}, I_{ksf}^{KS}\}, i=1\dots I, j=1\dots J, f=1\dots F. \quad (2.1)$$

У свою чергу, множина часткових задач з усунення КС і перелік інформаційних потреб для i -ї КС можна представити у вигляді підмножин:

$$\begin{aligned} T_{ksj}^{KS} &= \{T_{ksil1}, T_{ksil2}, T_{ksil3}, \dots, T_{ksil}, \dots, T_{ksilL_i}\}, l=1\dots L_i, \\ I_{ksf}^{KS} &= \{I_{ksil1}, I_{ksil2}, I_{ksil3}, \dots, I_{ksik}, \dots, I_{ksik_i}\}, k=1\dots K_i. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Для кожної КС кількість елементів множин T_{ksj}^{KS} і I_{ksf}^{KS} може бути різною, що відображено у верхніх границях зміни коефіцієнтів l і k . Часткові задачі у множині (2.2) нерівнозначні, а більший пріоритет (важливість для реалізації за вкладом в усунення КС) має завдання із старшим номером у переліку. Формуляри КС зберігаються у БД, яка модифікується і поповнюється в процесі експлуатації системи реагування на КС. Як приклад, структуру БД КС можна подати у вигляді геометричної моделі (рис. 2.2).

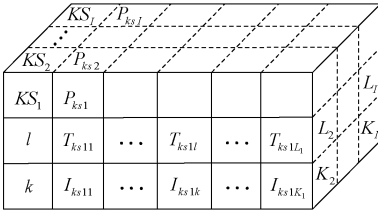
У формулярі КС елементи множин $KS_i - T_{ksil}, I_{ksik}$ – набувають бінарних значень одиниці за наявності відповідного завдання в переліку з усунення КС ($T_{ksil}=1$), а також відповідної інформаційної потреби ($I_{ksik}=1$) і нуля у протилежному разі. Лінгвістичні характеристики параметрів T_{ksil}, I_{ksik} , необхідні для виконання завдань персоналом ергатичної інформаційно-керуючої системи, містяться в базі знань (БЗ) про КС, що зберігається на серверній частині засобів апаратної підтримки СЦ.

Приклади сформованих формулярів КС зображені у вигляді (2.3), (2.4).

У прикладі (2.3) показано, що КС із буквено-цифровою ознакою $a1$, яка зберігається в БД під першим номером, передбачає виконання СЦ

п'яти можливих часткових задач, із яких обов'язковими для реалізації є перша – третя і п'ята.

Для їх виконання необхідно забезпечити доступність у системі до



трьох (першу–третю) з чотирьох ІД. Аналогічно пояснюється формуляр (2.4) на другу КС з ознакою $a2$. Звернення до БЗ КС дає лінгвістичне тлумачення параметрів T_{ksil} , I_{ksik} для конкретної ситуації, що склалася:

Рис. 2.2

$$KS_1 = \{P_{ks1}, T_{ks1}^{KS}, I_{ks1}^{KS}\}, P_{ks1} = a1,$$

$$T_{ks1}^{KS} = \left\{ \begin{matrix} T_{ks11} & T_{ks12} & T_{ks13} & T_{ks14} & T_{ks15} \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{matrix} \right\}, L_1 = 5, \quad (2.3)$$

$$I_{ks1}^{KS} = \left\{ \begin{matrix} I_{ks11} & I_{ks12} & I_{ks13} & I_{ks14} \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{matrix} \right\}, K_1 = 4;$$

$$KS_2 = \{P_{ks2}, T_{ks2}^{KS}, I_{ks2}^{KS}\}, P_{ks2} = a2,$$

$$T_{ks2}^{KS} = \left\{ \begin{matrix} T_{ks21} & T_{ks22} & T_{ks23} & T_{ks24} & T_{ks25} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix} \right\}, L_2 = 5, \quad (2.4)$$

$$I_{ks2}^{KS} = \left\{ \begin{matrix} I_{ks21} & I_{ks22} & I_{ks23} & I_{ks24} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix} \right\}, K_2 = 4.$$

Опис системи обробки інформації реалізується для кожного її окремого елемента (АРМ) як технічної системи без урахування впливу на її властивості ефективності роботи оператора, що приймається постійною величиною незалежно від часового інтервалу функціонування персоналу СЦ і напруженості КС. Математичний опис АРМ проводиться в термінах формуляра КС, оскільки саме за цими ознаками здійснюватиметься структурно-параметричний синтез ергатичної системи в цілому і для рівня елементів обробки інформації зокрема. Кожне АРМ характеризується множиною (*формуляром АРМ*) із переліку задач та інформаційних потреб

$$ES_j = \{T_{ksj}^{ES}, I_{ksj}^{ES}, I_{ksj}^{ID}(I_{ksf}^{ID})\}. \quad (2.5)$$

Елементи множин (2.5): $T_{ksj}^{ES}, I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ID})$ – у розширеній формі можуть бути представлені у вигляді (2.2), а функціональне позначення $I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ES})$ характеризує взаємозв'язок інформаційних потреб j -го АРМ, що забезпечується інформаційними можливостями f -го ІД. Формування конкретних описів АРМ у вигляді множин (2.5) та інтерпретація сформованих (заданих) значень здійснюються аналогічно до прикладів (2.3) і (2.4). При цьому підмножина I_{ksf}^{ES} несе в собі перелік *інформаційних потреб* j -го АРМ для реалізації потенційних можливостей поста з усунення КС.

Опис джерел інформації характеризується множиною пар (формуляром ІД): I_{ks}^{ID} – перелік (множина) *інформаційних можливостей* ІД; TX – перелік (множина) технічних характеристик (ТХ) ІД, що забезпечують його можливості:

$$ID_f = \{I_{ksf}^{ID}, TX_f\}. \quad (2.6)$$

Параметр I_{ks}^{ID} має аналогічний раніше викладеному опис. При цьому перелік однойменних значень (2.5) і (2.6), що формуються відповідно до (2.2), може і не збігатися. До множини ТХ належать такі, перш за все, традиційні для певного типу інформаційного засобу характеристики. Наприклад, ТХ радіолокаційних станцій, систем дистанційно го зондування Землі з космосу тощо, тобто *індивідуальні технічні характеристики*. До ТХ належать і технічні властивості ІД, що виникають (або що є похідними від основних характеристик) у разі його входження до складу інформаційно-керуючої системи і (або) в разі виникнення КС. Наприклад, час доступності джерела, оперативність отримання від нього інформації, повнота забезпечення інформаційних потреб тощо, тобто *системні технічні характеристики*.

Формуляри АРМ (2.5) та ІД (2.6) для кожної КС є відомими фактами, заздалегідь закладеними у БД і БЗ, що мають реляційні і логічні зв'язки із формуляром КС.

Таким чином, на понятійному рівні здійснений формальний математичний опис складових ергатичної розподіленої інформаційно-керуючої системи реагування на конфліктні ситуації (див. рис. 2.1) в термінах теорії множин.

З урахуванням викладеного, можна сформувати узагальнений *алгоритм функціонування системи реагування на КС*. За відсутності конфліктної ситуації система функціонує у штатному режимі. Персонал СЦ проводить роботу з аналізу поточної ситуації. Здійснюється накопичення даних для ефективного виконання цільових завдань, реалізується поповнення і

модифікація вмісту відповідних БД і БЗ. Проводиться обслуговування технічних складових системи і тренування персоналу. У разі виникнення КС в автоматизованому режимі під контролем керівника СЦ заповнюється її формуляр. Джерелом інформації про КС можуть бути оператори постів, висновки програмних компонент СЦ, що формуються на основі аналізу змін у поточній ситуації, або ж зовнішні команди управління. На основі сформованого формуляра КС здійснюється її алгоритмічна ідентифікація з використанням БД СЦ. Після успішної ідентифікації КС реалізується етап конфігурування системи в автоматичному або автоматизованому режимі. За результатами конфігурування оцінюється відхилення сформованої системи реагування на КС від необхідної структури для оцінки ризику в її роботі. З урахуванням результатів конфігурування системи, згідно з ідентифікованою КС, з використанням інформації БД і БЗ системи, формуються завдання операторам АРМ СЦ у вигляді формулярів, а також алгоритм роботи керівника СЦ з усунення виниклої ситуації. Далі реалізується робота з усунення КС і контролю її зміни з документуванням усіх дій персоналу і роботи апаратно-програмних засобів системи. В разі зміни ситуації можливе повторення викладених етапів роботи системи, починаючи з ідентифікації КС. Після усунення виниклої ситуації проводиться ретроспективний аналіз роботи системи, доповнення і модифікація БД і БЗ СЦ. У разі виникнення нової КС знаходиться її найближчий аналог, а алгоритм функціонування системи залишається аналогічним викладеному.

Для реалізації структурно-параметричного синтезу системи необхідно поставити вимоги до ефективності цього процесу, що визначають зрештою якість її цільового використання.

2.3. РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ СТРУКТУРНОГО ТА ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ ЕРГАТИЧНОЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ

Опис вимог до реалізації синтезу й оцінювання ефективності системи.

Розв'язання задачі синтезу системи даного класу повинне забезпечити визначення такої її структури, щоб відображення формуляра КС на описі АРМ системи обробки у взаємодії з ІД забезпечувало з високою ефективністю усунення КС. Тому опис ефективності системи повинен містити перелік параметрів і критеріїв, пов'язаних із рівнем відображення в її структурі вимог формуляра КС.

У загальному випадку система, що синтезується, повинна відповідати таким вимогам:

1) забезпечувати мінімальний час, що витрачається на усунення КС, $t_{ks} \rightarrow \min$;

2) мати високу достовірність рішень, що формуються для усунення КС, $D_{ks} \rightarrow \max$;

3) надавати якнайкращу інформаційну надмірність для прийняття рішень на усунення КС $IN_{ks} \rightarrow \max$.

Таким чином, маємо критеріальні вимоги для реалізації структурно-параметричного синтезу системи реагування на КС (2.7):

$$\begin{cases} t_{ks} \rightarrow \min & \text{при } t_{ks} \leq t_{ks \text{ пор}} \\ D_{ks} \rightarrow \max & \text{при } D_{ks} \geq D_{ks \text{ пор}}, \\ IN_{ks} \rightarrow \max & \text{при } IN_{ks \text{ min}} \leq IN_{ks} \leq IN_{ks \text{ max}}. \end{cases} \quad (2.7)$$

Забезпечення найвищої достовірності рішень потребує збільшення кількості ІД. Це, у свою чергу, підвищує часові витрати на реалізацію технологічного процесу отримання, передачі й обробки інформації про КС. Отже, система критеріїв (2.7) є суперечливою, а завдання структурно-параметричного синтезу системи реагування на КС приведенне до багато-критерійної форми [110, 112].

Обмеження, вказані для частинних критеріїв (2.7), пояснюються таким чином. Час усунення КС t_{ks} не може перевищувати деякого граничного значення, що співвідноситься з часом її існування, і повинен забезпечувати наблизений до реального час функціонування системи. Достовірність рішень з усунення КС D_{ks} не може бути нижчою від встановленого порога, визначеного на етапі проектування системи і забезпеченого складом рівня обробки інформації, а також ефективністю покладеного в її основу алгоритмічного забезпечення. Вибір ІД із забезпеченням якнайкращої інформаційної надмірності IN_{ks} повинен здійснюватися в межах, визначених інформаційною доступністю і достатністю даних про КС.

Показники ефективності, вказані у (2.7), прямо або опосередковано взаємозв'язані з параметрами формулярів КС, АРМ та ІД, а саме: з переліком часткових завдань системи в цілому, направлених на усунення КС, – T_{ks}^S , з переліком інформаційних потреб з усунення КС – I_{ks}^S . Їх взаємозв'язок у вигляді математичних залежностей можна отримати під час конкретизації типу інформаційно-керуючої системи і сфери її застосування. Єдиною величиною вказаних показників може бути кількість використовуваних АРМ системи обробки інформації і, відповідно, необхідних для їх функціонування ІД. Тоді, здійснюючи певним чином числове масштабування для ознаки КС – P_{ks} (наприклад, пропорційно ступеню наблизеності поточної

ситуації еталона БД КС), доцільно ввести *вектор рішень з усунення КС* – W_r . Графічне зображення вектора W_r показано на рис. 2.3, а порядок розрахунку його числової міри (довжини) – у виразі (2.8):

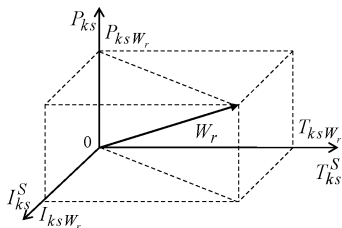


Рис. 2.3

$$W_r = \sqrt{P_{ks}^2 W_r + T_{ks}^2 W_r + I_{ks}^2 W_r}. \quad (2.8)$$

Відповідно до суті завдання конфігурування системи реагування на КС слід увести два поняття: *необхідний вектор рішень* – W_{rW} , що визначається формуляром КС і характеризує вимоги до системи, яка конфігурується, за відображенням у її структурі поточної ситуації; *забезпечуваний вектор рішень* – W_{rS} , що характеризує ступінь відображення у структурі вже синтезованої системи даної ситуації. Загалом вектори W_{rW} , W_{rS} не збігатимуться, що пояснюється чинниками двох груп. До першої належать чинники, обумовлені виконанням критеріальних вимог (2.7). Так, наприклад, забезпечення найкращої інформаційної надмірності системи реагування на КС породжує рух вектора рішень у площині $P_{ks}0I_{ks}^S$, а забезпечення найвищої достовірності рішень – у площині $I_{ks}^S0T_{ks}^S$. Переміщення вектора рішень у площині $P_{ks}0T_{ks}^S$ може бути наслідком роботи системи за новою (подібною до відомої) КС. У цьому випадку незбіг *необхідного* і *забезпечуваного* векторів слід характеризувати *областю виконання задачі*, яка відображає *відхилення системи*. До другої групи чинників незбігу векторів W_{rW} , W_{rS} належать причини трьох категорій: помилки, збої, зовнішні дії. Перша з них включає помилки: початкових даних (вимірів); конфігурування системи; ті, що виникають у роботі програмних засобів; породжувані персоналом (операторами АРМ системи обробки, виконавських елементів та ІД). До другої категорії належать збої, що виникають у роботі: апаратури системи (внутрішні і зовнішні); каналів передачі даних (від інформаційних джерел до виконавських елементів); системи енергозабезпечення тощо.

Категорія “зовнішні дії” включає: вплив складної радіоелектронної обстановки на роботу системи (навмисний або ненавмисний); дії на ергатичну

складову системи тощо. Незбійжність такого характеру називають *областю невиконання задачі*, що відображає *помилки системи*. Розміри областей виконання і невиконання задачі визначаються на етапі проектування системи методами імітаційного моделювання з подальшим уточненням на етапі експлуатації реальної системи. Графічне представлення областей виконання і невиконання задачі наведено на рис. 2.4, де прийняті позначення: P_{ksW} , P_{ksS} – ознака КС, встановлена вимогами до системи і забезпечувана синтезованою системою відповідно; I_{ksW} , I_{ksS} – потрібні і забезпечені інформаційні потреби системи; T_{ksW} , T_{ksS} – необхідні і виконувані конфігурованою системою задачі з усунення КС; Ω_{ks} – *відхилення системи*. Встановлені координати формують паралелепіпед, що називається *паралелепіпедом рішень*. Обмеження “зверху” області невиконання задачі є умовним. Фактично саме параметр Ω_{ks} може виступати мірою виконання конфігурованою системою задач відповідно до свого цільового призначення.

Величина відхилення системи визначається як відстань між двома просторовими точками з відомими координатами $W(T_{ksW}; P_{ksW}; I_{ksW})$, $S(T_{ksS}; P_{ksS}; I_{ksS})$ (рис. 2.4) відповідно до виразу

$$\Omega_{ks} = \sqrt{(T_{ksW} - T_{ksS})^2 + (P_{ksW} - P_{ksS})^2 + (I_{ksW} - I_{ksS})^2}. \quad (2.9)$$

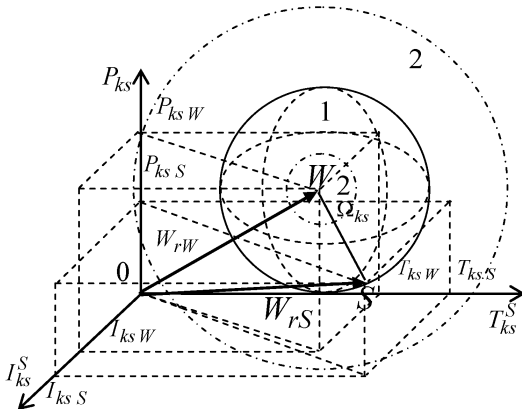


Рис. 2.4

Для конкретної системи реагування на КС відповідно до (2.9) можна визначити граничні значення Ω_{ksPOR}^{\min} і Ω_{ksPOR}^{\max} , що є радіусом внутрішньої і зовнішньої сфер із центром у точці W . Їх поверхні розмежують області виконання і невиконання системою цільових задач. Тоді умова виконання конфігурованою системою задач з усунення КС матиме вигляд

$$\Omega_{ksPOR}^{\min} \leq \Omega_{ks} < \Omega_{ksPOR}^{\max}. \quad (2.10)$$

Поріг Ω_{ksPOR}^{\min} характеризує ситуацію, коли мінімальні вимоги формуляра КС із тих або інших причин не виконуються конфігурованою системою, а поріг Ω_{ksPOR}^{\max} визначається потенційними можливостями системи реагування на КС. З рис. 2.4 випливає, що область невиконання системою задач поглинає область її виконання. У зв'язку з цим можна говорити про труднощі в чіткому розмежуванні понять відхилення і помилок системи. Тому при оцінюванні ефективності результатів конфігурування системи і можливостей її цільового використання аналізуватиметься незбіг векторів W_{rW} , W_{rS} і границі області виконання задач, абстрагуючись від причин, що їх породжують.

Таким чином, рівняння системи (2.7) є критеріями синтезу системи і може використовуватися як показники ефективності її функціонування, а узагальнена оцінка (2.9) та умова (2.10) виступають мірою відображення в системі КС для її усунення.

У формалізованій формі завдання структурно-параметричного синтезу складної ергатичної розподіленої інформаційно-керуючої системи реагування на КС формулюється таким чином. Для усунення виниклої КС із відомим формуляром $KS_i = \{P_{ksi}, T_{ksj}^{KS}, I_{ksf}^{KS}\}$ необхідно провести конфігурування системи реагування на КС шляхом визначення складу АРМ системи обробки інформації, що описується кінцевою множиною $ES_j = \{T_{ksj}^{ES}, I_{ksf}^{ES}\}$, а також складу ІД із множини $ID_f = \{I_{ksf}^{ID}, TX_f\}$. Система, що конфігурується, повинна забезпечувати розв'язання задачі усунення КС з ефективністю, що задовольняє вимогу (2.7) і забезпечує виконання умови (2.10).

Розв'язання багатокритеріальної задачі структурно-параметричного синтезу здійснюватимемо з використанням методів багатокритеріального аналізу у два етапи. На першому визначається оптимальний кількісний склад АРМ (*синтез структури системи за кількісним складом*) системи обробки інформації відповідно до критеріїв (5.7). Це непрямим чином накладе обмеження на кількісний склад використовуваних ІД. На другому етапі реалізується вибір конкретних АРМ та ІД, що забезпечують виконання

умови (5.10), чим реалізується синтез *якісної структури системи реагування на КС*.

Розв'язання багатокритеріальної оптимізаційної задачі здійснюється шляхом зведення її до однокритеріальної форми [27]. Для цього необхідно: визначити перелік частинних критеріїв оптимальності і вибрати варійований (що оптимізується) параметр; сформувати модель зміни частинних критеріїв оптимальності; вибрати спосіб зведення частинних критеріїв в узагальнений та отримати оптимізаційну модель системи, що синтезується; знайти екстремум функції узагальненого критерію щодо варійованого параметра; провести інтерпретацію розв'язання.

Формування узагальненого критерію оптимальності реалізується з використанням нелінійної згортки професора Вороніна А. М. [134]. Порівняно з іншими схемами оптимізації згортка має низку доведених і підтверджених практикою переваг: завдання вирішується за наявності обмежень, у яких гарантується унімодальність функції узагальненого критерію оптимальності; розв'язання оптимізаційної задачі належить до області Парето; характерна відносно невелика обчислювальна складність алгоритму пошуку рішення. Згортка для дискретно заданих частинних критеріїв має вигляд

$$Y(y_0) = \sum_{m=1}^b \gamma_{0m} (1 - y_{0m})^{-1} \rightarrow \min, \quad (2.11)$$

де $m=1..b$ – кількість включених до згортки частинних критеріїв оптимальності;

γ_{0m} – нормований ваговий коефіцієнт;

y_{0m} – нормований частинний критерій оптимальності.

При формуванні функції узагальненого критерію для аналогового способу представлення частинних критеріїв оптимальності використовується згортка вигляду

$$\chi^* = \arg \min_{\chi \in G} \sum_{m=1}^b \gamma_{m0} (1 - \varphi_{0m}(\chi))^{-1} = F(\chi), \quad (2.12)$$

де χ – параметр, що оптимізується; G – область допустимих значень функцій частинних критеріїв оптимальності; $\varphi_{0m}(\chi)$ – нормована функція m -го частинного критерію; χ^* – оптимальне значення шуканого параметра. Нормування частинних критеріїв оптимальності здійснюється з метою приведення їх до безрозмірної форми, що мінімізується, на обмеженому інтервалі $\varphi_m(\min \chi) \leq \varphi_m(\chi) \leq \varphi_m(\max \chi)$. Для дискретного способу опису частинних критеріїв їх нормування може бути реалізовано відповідно до виразів

$$\varphi_{0m} = \frac{\varphi_{mp}^{\min}}{\sum_{p=1}^{K_{\min}} \varphi_{mp}^{\min}}, \quad \varphi_{0m} = \left(\varphi_{mp}^{\max} \sum_{p=1}^{K_{\max}} \frac{1}{\varphi_{mp}^{\max}} \right)^{-1}, \quad (2.13)$$

де $p = K_{\min}, K_{\max}$ – кількість дискретних значень у вибірці, що характеризує зміну мінімізованих φ_{mp}^{\min} і максимізованих φ_{mp}^{\max} критеріїв. Нормування частинних критеріїв для аналогового їх опису може проводитися таким чином:

$$\varphi_{0m}(\chi) = \frac{\varphi_m^{\max}(\min \chi)}{\varphi_m^{\max}(\chi)}, \quad \varphi_{0m}(\chi) = \frac{\varphi_m^{\min}(\chi)}{\varphi_m^{\min}(\max \chi)}. \quad (2.14)$$

Нормування вагових коефіцієнтів здійснюється відносно суми їх значень, встановлених для всіх частинних критеріїв, включених у згортку:

$$\gamma_{0m} = \frac{\gamma_m}{\sum_{m=1}^b \gamma_m}. \quad (2.15)$$

Визначення оптимального кількісного складу АРМ системи обробки інформації N_{ARM} (синтез структури системи за кількісним складом) реалізується відповідно до вимог системи (2.7). Можна евристично показати, а для конкретної системи реагування на КС експериментально і математично довести, що показники, які входять до (2.7), залежать від параметра N_{ARM} . Тому уточнена система критеріїв (2.7) для аналогового способу їх опису набуде вигляду

$$\begin{cases} t_{ks}(N_{ARM}) \rightarrow \min, & npu \quad t_{ks}(N_{ARM}) \leq t_{ks\,por}(N_{ARM}), \\ D_{ks}(N_{ARM}) \rightarrow \max, & npu \quad D_{ks}(N_{ARM}) \geq D_{ks\,por}(N_{ARM}), \\ IN_{ks}(N_{ARM}) \rightarrow \max, \\ npu \quad IN_{ks}(\min N_{ARM}) \leq IN_{ks}(N_{ARM}) \leq IN_{ks}(\max N_{ARM}). \end{cases} \quad (2.16)$$

Таким чином, з урахуванням (2.11) відповідно до дискретного способу представлення частинних критеріїв оптимальності у вигляді (2.7) отримаємо *математичну оптимізаційну модель для структурного синтезу системи реагування на КС щодо кількості АРМ системи обробки інформації*:

$$\begin{aligned} \delta_{ARM} = & \gamma_{t0}(1-t_{k,s0})^{-1} + \gamma_{D0}(1-D_{k,s0})^{-1} + \\ & + \gamma_{ID0}(1-IN_{rs0})^{-1} \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Нульовий індекс у складових моделі (2.17) характеризує їх нормування відповідно до (2.13) для частинних критеріїв оптимальності. Параметри $\gamma_{t0}, \gamma_{D0}, \gamma_{ID0}$ є нормованими за правилом (2.15) ваговими коефіцієнтами відповідних критеріїв. Оптимальна кількість АРМ у системі обробки інформації N_{ARM}^{opt} за моделлю (2.17) визначається такою, що забезпечує мінімальне значення величини δ_{ARM} на обмеженому інтервалі зміни варіюваного параметра N_{ARM} :

$$N_{ARM}^{opt} = N_{ARM} \text{ при } \delta_{ARM} = \min. \quad (2.18)$$

Для аналогового способу опису частинних критеріїв оптимальності (2.16) з використанням (2.12) отримуємо таку *оптимізаційну математичну модель*:

$$\begin{aligned} F(N_{ARM}) = & \gamma_{t0}(1-t_{k,s0}(N_{ARM}))^{-1} + \gamma_{D0}(1-D_{k,s0}(N_{ARM}))^{-1} + \\ & + \gamma_{ID0}(1-ID_{k,s0}(N_{ARM}))^{-1} \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (2.19)$$

де нормування вагових коефіцієнтів здійснюється згідно з (2.15), а критеріальних функцій $t_{k,s0}(N_{ARM}), D_{k,s0}(N_{ARM}), ID_{k,s0}(N_{ARM})$ відповідно до (2.14). Оптимальна кількість АРМ системи обробки інформації з використанням моделі (2.19) є розв'язком рівняння $\frac{dF(N_{ARM})}{dN_{ARM}} = 0$ з округленням

отриманого числа N_{ARM}^* до цілого значення відповідно до правила

$$N_{ARM}^{opt} = \min F\left(\min N_{ARM}^* \text{ або } \max N_{ARM}^*\right). \quad (2.20)$$

Таким чином, оптимізаційні моделі (2.17) і (2.19) забезпечують визначення оптимальної кількості АРМ, що входять до складу системи обробки інформації, і непрямым чином визначають склад ІД складної системи. Цим вирішується перший етап структурно-параметричного синтезу системи реагування на КС. Необхідність формування дискретних та аналогових оптимізаційних моделей пояснюється ось чим. Дискретна модель (2.17) проста в реалізації, дає однозначне рішення в суто дискретній задачі вибору кількості елементів складної системи, проте не забезпечує проведення глибокого аналізу і не володіє прогностичними властивостями [115]. Аналогова модель (2.19) має протилежні дискретній переваги і недоліки [64]. Тому для розв'язання оперативних розрахункових задач слід використовувати дискретні моделі визначення кількісного складу складної

системи реагування на КС, а для дослідницьких цілей переважне застосування аналогових моделей.

Порядок практичного використання сформованих оптимізаційних моделей (2.17), (2.19) аналогічний прикладу, розглянутому у статті [115], але з урахуванням особливостей та ознак у складі критеріальних вимог (2.16).

Синтез якісної структури системи реагування на КС (вибір конкретних АРМ системи обробки інформації та ІД). Цей етап реалізується шляхом пошуку такого складу АРМ і необхідних для їх функціонування ІД (за відомого значення $N_{АРМ}^{opt}$), що складатимуть систему, в якій *найкращим* чином відображується виникла КС із виконанням вимоги (2.10). Поняття *найкращого* відображення КС у системі потребує уточнення у вигляді критеріальних вимог. Для цього реалізується послідовність дій, показана на узагальненому прикладі.

Нехай задані формуляри КС у вигляді (2.3) і семи доступних для використання АРМ, що забезпечуються п'ятьма ІД:

$$\begin{aligned}
 ES_1 &= \{T_{ks1}^{ES}, I_{ks1}^{KS}(I_{ks1}^{ID})\}, T_{ks1}^{ES} = \begin{Bmatrix} T_{ks11} & T_{ks12} & T_{ks13} & T_{ks14} & T_{ks15} \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{Bmatrix}, \\
 I_{ks1}^{ES}(I_{ks1}^{ID}) &= \begin{Bmatrix} I_{ks11} & I_{ks12} & I_{ks13} & I_{ks14} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{Bmatrix}, \\
 ES_2 &= \{T_{ks2}^{ES}, I_{ks2}^{ES}(I_{ks2}^{ES})\}, T_{ks2}^{ES} = \begin{Bmatrix} T_{ks11} & T_{ks12} & T_{ks13} & T_{ks14} & T_{ks15} \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{Bmatrix}, \\
 I_{ks1}^{ES}(I_{ks2}^{ID}) &= \begin{Bmatrix} I_{ks11} & I_{ks12} & I_{ks13} & I_{ks14} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{Bmatrix}, \\
 ES_3 &= \{T_{ks3}^{ES}, I_{ks3}^{ES}(I_{ks3}^{ID})\}, T_{ks3}^{ES} = \begin{Bmatrix} T_{ks11} & T_{ks12} & T_{ks13} & T_{ks14} & T_{ks15} \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{Bmatrix}, \\
 I_{ks3}^{ES}(I_{ks3}^{ID}) &= \begin{Bmatrix} I_{ks11} & I_{ks12} & I_{ks13} & I_{ks14} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{Bmatrix}, \\
 ES_4 &= \{T_{ks4}^{ES}, I_{ks4}^{ES}(I_{ks4}^{ID})\}, \\
 T_{ks4}^{ES} &= \begin{Bmatrix} T_{ks11} & T_{ks12} & T_{ks13} & T_{ks14} & T_{ks15} \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{Bmatrix}, \\
 I_{ks4}^{ES}(I_{ks4}^{ID}) &= \begin{Bmatrix} I_{ks11} & I_{ks12} & I_{ks13} & I_{ks14} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{Bmatrix}, \\
 ES_5 &= \{T_{ks5}^{ES}, I_{ks5}^{ES}(I_{ks5}^{ID})\},
 \end{aligned} \tag{2.21}$$

$$\begin{aligned}
T_{ks5}^{ES} &= \left\{ T_{ks11}, T_{ks12}, T_{ks13}, T_{ks14}, T_{ks15} \right\}, \\
I_{ks5}^{ES}(I_{ks5}^{ID}) &= \left\{ I_{ks11}, I_{ks12}, I_{ks13}, I_{ks14} \right\}, \\
ES_6 &= \left\{ T_{ks6}^{ES}, I_{ks6}^{ES}(I_{ks2}^{ID}) \right\}, T_{ks6}^{ES} = \left\{ T_{ks11}, T_{ks12}, T_{ks13}, T_{ks14}, T_{ks15} \right\}, \\
I_{ks6}^{ES}(I_{ks2}^{ID}) &= \left\{ I_{ks11}, I_{ks12}, I_{ks13}, I_{ks14} \right\}, \\
ES_7 &= \left\{ T_{ks7}^{ES}, I_{ks7}^{ES}(I_{ks3}^{ID}) \right\}, T_{ks7}^{ES} = \left\{ T_{ks11}, T_{ks12}, T_{ks13}, T_{ks14}, T_{ks15} \right\}, \\
I_{ks7}^{ES}(I_{ks3}^{ID}) &= \left\{ I_{ks11}, I_{ks12}, I_{ks13}, I_{ks14} \right\}.
\end{aligned}$$

Заданими є і формуляри п'яти доступних ІД:

$$\begin{aligned}
ID_1 &= \left\{ I_{ks1}^{ID}, TX_{ks1} \right\}, I_{ks1}^{ID} = \left\{ I_{ks11}, I_{ks12}, I_{ks13}, I_{ks14} \right\}, \\
TX_{ks1} &= \left\{ TX(I_{ks11}), TX(I_{ks12}), TX(I_{ks13}), TX(I_{ks14}) \right\}, \\
ID_2 &= \left\{ I_{ks2}^{ID}, TX_{ks2} \right\}, I_{ks2}^{ID} = \left\{ I_{ks11}, I_{ks12}, I_{ks13}, I_{ks14} \right\}, \\
TX_{ks2} &= \left\{ TX(I_{ks11}), TX(I_{ks12}), TX(I_{ks13}), TX(I_{ks14}) \right\}, \\
ID_3 &= \left\{ I_{ks3}^{ID}, TX_{ks3} \right\}, I_{ks3}^{ID} = \left\{ I_{ks11}, I_{ks12}, I_{ks13}, I_{ks14} \right\}, \\
TX_{ks3} &= \left\{ TX(I_{ks11}), TX(I_{ks12}), TX(I_{ks13}), TX(I_{ks14}) \right\}, \\
ID_4 &= \left\{ I_{ks4}^{ID}, TX_{ks4} \right\}, I_{ks4}^{ID} = \left\{ I_{ks11}, I_{ks12}, I_{ks13}, I_{ks14} \right\}, \\
TX_{ks4} &= \left\{ TX(I_{ks11}), TX(I_{ks12}), TX(I_{ks13}), TX(I_{ks14}) \right\},
\end{aligned} \tag{2.22}$$

$$ID_5 = \{I_{ks5}^{ID}, TX_{ks5}\}, I_{ks5}^{ID} = \left\{ \begin{matrix} I_{ks11} & I_{ks12} & I_{ks13} & I_{ks14} \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{matrix} \right\},$$

$$TX_{ks5} = \left\{ \begin{matrix} TX(I_{ks11}) & TX(I_{ks12}) & TX(I_{ks13}) & TX(I_{ks14}) \\ 2 & 3 & 4 & 8 \end{matrix} \right\}.$$

Незбіжність I_{ks}^{ES} і I_{ks}^{ID} пов'язана з актуалізацією I_{ks}^{ID} на момент виникнення КС. Як значення параметрів TX ІД $TX(I_{ks})$ у прикладі (2.22) встановлені інтегровані оцінки, що змінюються в межах 0 – 10 з найкращим значенням, яке дорівнює десяти.

Далі здійснюється послідовність взаємних відображень формулярів КС, АРМ та ІД шляхом перемножування відповідних елементів множин $KS_i = \{P_{ksi}, T_{ksj}^{KS}, I_{ksf}^{KS}\}$, $ES_j = \{T_{ksj}^{ES}, I_{ksf}^{ES}\}$ і $ID_f = \{I_{ksf}^{ID}, TX_f\}$. Цим реалізується формування свого роду унікальної числової кодової комбінації для кожного АРМ з урахуванням специфіки КС, що існують на час її виникнення, можливостей ІД та їх TX . Пріоритет у реалізації послідовності операцій формуляра КС з усунення виниклої ситуації враховується шляхом розрахунку відповідних вагових коефіцієнтів пропорційно двійковому коду представлення десяткового числа. Двійковий код числа задається у вигляді

$$N_{kod} = \left\{ \frac{N_{kod1}}{2^0}, \frac{N_{kod2}}{2^1}, \frac{N_{kod3}}{2^2}, \dots \right\}. \quad (2.23)$$

Порядок реалізації вказаних дій здійснюється таким чином.

1. Відображення формуляра КС на формуляр АРМ у частині, що стосується переліку виконуваних завдань:

$$\left[ES_j(T_{ksj}^{ES}) \times KS_i(T_{ksj}^{KS}) \right] = T_{ksj}^{\text{mod } KS}. \quad (2.24)$$

Тут і далі введені функціональні позначення вигляду $ES_j(T_{ksj}^{ES})$, $KS_i(T_{ksj}^{KS})$ характеризують відповідні елементи множин, що формують дані формуляри, а реалізація операції їх відображення здійснюється шляхом множення елементів складових підмножин.

2. Відображення формуляра ІД на формуляр АРМ відносно інформаційних потреб:

$$\left[ES_j(I_{ksj}^{ES} I_{ksf}^{ID}) \times ID_f(I_{ksf}^{ID}) \right] = I_{ksj}^{\text{mod } ID}. \quad (2.25)$$

3. Відображення формуляра КС на результати п. 2 (2.25):

$$\left[I_{ksj}^{\text{mod } ID} \times KS_i \left(I_{ksf}^{KS} \right) \right] = I_{ksj}^{\text{mod } ID, KS}. \quad (2.26)$$

4. Відображення результатів п. 3 (2.26) на формуляр ІД відносно їх ТХ:

$$\left[ID_f \left(TX_{ksf} \right) \times I_{ksj}^{\text{mod } ID, KS} \right] = TX_{ksj}^{\text{mod } ID, KS}. \quad (2.27)$$

Результатом описаних операцій є формуляр системи реагування на КС, що включає опис кожного АРМ з урахуванням виниклої ситуації, можливостей ІД та потреб системи обробки інформації:

$$S = \left\{ P_{ks}, T_{ksj}^{\text{mod } KS}, I_{ksj}^{\text{mod } ID, KS}, TX_{ksj}^{\text{mod } ID, KS} \right\}. \quad (2.28)$$

5. Параметри, що складають формуляр системи, використовуються для розрахунку їх вагових коефіцієнтів по кожному АРМ. При цьому застосовується двійковий код (2.23) і враховується порядок створення формулярів КС, АРМ та ІД. Розрахунок вагових коефіцієнтів для параметрів формуляра (2.28) реалізується з використанням виразів:

$$GT_j = \left[T_{ksj}^{\text{mod } KS} \times N_{kod} \right], \quad GI_j = \left[I_{ksj}^{\text{mod } ID, KS} \times N_{kod} \right], \quad (2.29)$$

$$GTX_j = \left[TX_{ksj}^{\text{mod } ID, KS} \times N_{kod} \right].$$

6. Далі знаходять суми значущих позицій із переліку параметрів формуляра (2.28) і вагових коефіцієнтів (2.29) для кожного АРМ:

$$T_{Sj} \rightarrow \max, \quad I_{Sj} = \sum_{k=1}^{K_j} I_{ksj}^{\text{mod } ID, KS} (I_{ksik}), \quad (2.30)$$

$$TX_{Sj} = \sum_{m=1}^{M_j} TX_{ksj}^{\text{mod } ID, KS} (TX_{ksim}),$$

$$GT_{Sj} = \sum_{l=1}^{L_j} GT_j (GT_{ksil}), \quad GI_{Sj} = \sum_{k=1}^{K_j} GI_j (GI_{ksik}), \quad (2.31)$$

$$GTX_{Sj} = \sum_{m=1}^{M_j} GTX_j (GTX_{ksim}).$$

Отриманими результатами є узагальнені значення показників $T_{ksj}^{\text{mod } KS}$, $I_{ksj}^{\text{mod } ID, KS}$, $TX_{ksj}^{\text{mod } ID, KS}$ і їх вагових коефіцієнтів GT_j , GI_j , GTX_j . Отже, маємо дані, що характеризують кожне АРМ, узагальнені у вигляді табл. 2.1.

**Узагальнені значення показників формуляра системи
та їх вагових коефіцієнтів**

Параметр	Номер АРМ			
	1	2	...	L_j
T_{S_j}	T_{S1}	T_{S2}	...	$T_{S L_j}$
GT_j	GT_1	GT_2	...	GT_{L_j}
I_{S_j}	I_{S1}	I_{S2}	...	$I_{S L_j}$
GI_j	GI_1	GI_2	...	GI_{L_j}
TX_{S_j}	TX_{S1}	TX_{S2}	...	$TX_{S L_j}$
GTX_j	GTX_1	GTX_2	...	GTX_{L_j}

Дані табл. 2.1 є початковими для формування частинних критеріальних вимог, що ставляться до структури системи реагування на КС, яка синтезується. При цьому оптимальною буде структура системи, що забезпечує: виконання найбільшої кількості функцій АРМ із заданих формуляром КС $T_{S_j} \rightarrow \max$; найбільшу кількість використовуваних для усунення КС ІД $I_{S_j} \rightarrow \max$ з найкращими ТХ $TX_{S_j} \rightarrow \max$.

Обмеження на кількість використовуваних АРМ і пов'язаних з ними ІД накладається значенням N_{ARM}^{opt} . Таким чином, маємо систему критеріальних вимог для реалізації структурно-параметричного синтезу системи реагування на КС:

$$\begin{cases} T_{S_j} \rightarrow \max, \\ I_{S_j} \rightarrow \max, \\ TX_{S_j} \rightarrow \max. \end{cases} \quad (2.32)$$

Зіставлення системи частинних критеріїв (2.7) і (2.32) дозволяє виявити суперечність останніх, що є ознакою багатокритеріальності. Тому розв'язання багатокритеріальної задачі структурно-параметричного синтезу проведитимемо з використанням нелінійної схеми компромісів у формі дискретної згортки (2.11). Це визначається дискретним характером опису зміни частинних критеріїв (2.32), наведених у табл. 2.1. Як вагові коефіцієнти використовуються параметри GT_j , GI_j , GTX_j , що відображають значущість постів за T_{S_j} , I_{S_j} , TX_{S_j} відповідно до прийнятого ієрархічного компонування множин $T_{ksj}^{\text{mod } KS}$, $I_{ksj}^{\text{mod } ID, KS}$, $TX_{ksj}^{\text{mod } ID, KS}$,

перетворених із позиційного коду в десяткове число згідно з (2.29) і (2.31). Реалізувавши нормування частинних критеріїв (2.32) і вагових коефіцієнтів відповідно до (2.13) (у межах зміни j), застосовуючи (2.11) до (2.32), отримаємо *оптимізаційну математичну модель структурно-параметричного синтезу ергатичної розподіленої інформаційно-керуючої системи реагування на КС*:

$$\Psi_j = GT_{j0}(1 - T_{S_{j0}})^{-1} + GI_{j0}(1 - I_{S_{j0}})^{-1} + GTX_{j0}(1 - TX_{S_{j0}})^{-1} \rightarrow \min. \quad (2.33)$$

Нормування вагових коефіцієнтів згідно з (2.13) обумовлено приведенням їх до форми, що мінімізується, для включення у згортку (2.11). Використання моделі (2.33) до даних табл. 2.1 дає набір значень, що характеризують зміну узагальненого критерію оптимальності системи, що синтезується, – Ψ_j (див. табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Значення узагальненого критерію оптимальності

Параметр	Номер АРМ			
	1	2	...	L_j
Ψ_j	Ψ_1	Ψ_2	...	Ψ_{L_j}

Вибір N_{ARM}^{opt} АРМ із доступних для формування структури системи і, відповідно, необхідних ІД реалізується шляхом контролю виконання умови мінімізації значень Ψ_j для кожного j -го АРМ. У результаті маємо перелік АРМ та ІД, що формують структуру системи для реагування на виниклу КС. Параметри синтезованої таким чином системи побічно визначені ТХ відібраних АРМ та ІД. Структура сконфігурованої системи і її параметри є парето-оптимальними за сукупністю суперечливих критеріїв (2.7) або (2.16) і (2.32).

2.4. ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ КОНФІГУРУВАННЯ СИСТЕМИ РЕАГУВАННЯ НА КОНФЛІКТНІ СИТУАЦІЇ

Реалізація процесу оцінювання ефективності здійснюється з використанням раніше введених понять (див. рис. 2.4): координат паралелепіпеда рішень, порогових значень Ω_{ksPOR}^{min} , Ω_{ksPOR}^{max} і відхилення системи Ω_{ks} з контролем виконання умови (2.10).

Послідовність розрахунку вказаних параметрів проводиться для відомого формуляра КС з мінімальними вимогами до системи, що

конфігурується, – $KS_{\min} = \{P_{ks \min}, T_{ks \min}^{KS}, I_{ks \min}^{KS}\}$, за яких виконання цільової задачі реалізується з мінімальними показниками ефективності з переліку (2.7). Наприклад, з $0,6 \leq D_{ks} \leq 0,7$ за граничний час усунення КС і за мінімального складу ІД. Формуляри KS_{\min} для типових КС містяться в БД і БЗ конфліктних ситуацій. Розрахунок координат паралелепіпеда рішень і порогових значень відхилень сконфігурованої системи реалізується у декілька етапів.

1. Знаходження сум значущих позицій параметрів формулярів АРМ і вагових коефіцієнтів для них:

$$T_{Aj} = \sum_{l=1}^{L_j} T_{ksj}^{ES}(T_{ksil}), \quad I_{Aj} = \sum_{k=1}^{K_j} I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ID})(I_{ksik}),$$

$$GT_{Aj} = \sum_{l=1}^{L_j} [T_{ksj}^{ES}(T_{ksil}) \times N_{kodl}], \quad GI_{Aj} = \sum_{k=1}^{K_j} [I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ID})(I_{ksik}) \times N_{kodk}]. \quad (2.34)$$

2. Знаходження сум значущих позицій для параметрів формуляра КС і їх вагових коефіцієнтів:

$$T_{ksj} = \sum_{l=1}^{L_j} T_{ksj}^{KS}(T_{ksil}), \quad I_{ksj} = \sum_{k=1}^{K_j} I_{ksj}^{KS}(I_{ksik}),$$

$$GT_{ksj} = \sum_{l=1}^{L_j} [T_{ksj}^{KS}(T_{ksil}) \times N_{kodl}], \quad (2.35)$$

$$GI_{ksj} = \sum_{k=1}^{K_j} [I_{ksj}^{KS}(I_{ksik}) \times N_{kodk}].$$

3. Знаходження сум значущих позицій параметрів формуляра KS_{\min} і вагових коефіцієнтів для них. Ця операція проводиться аналогічно (2.35) і дає результат – $T_{ks \min}, I_{ks \min}, GT_{ks \min}, GI_{ks \min}$.

4. З отриманих параметрів формуються часткові критеріальні вимоги і показники ефективності сконфігурованої системи: A_j – перелік критеріїв ефективності всіх доступних для використання АРМ системи обробки інформації в кількості N_{ARM} ; S_j – перелік критеріїв ефективності, що входять до сконфігурованої системи АРМ у кількості N_{ARM}^{opt} ; KS_i – узагальнені значення показників, що характеризують вимоги до системи і визначені формуляром КС; KS_{\min} – узагальнені значення показників, що характеризують мінімальні вимоги до системи, які визначаються формуляром KS_{\min} :

$$\begin{aligned}
 A_j &= \begin{cases} T_{A_j} \rightarrow \max, \\ I_{A_j} \rightarrow \max, \end{cases} & S_j &= \begin{cases} T_{S_j} \rightarrow \max, \\ I_{S_j} \rightarrow \max, \end{cases} \\
 K_{S_i} &= \begin{cases} T_{ks_i}, \\ I_{ks_i}, \end{cases} & K_{S_{\min}} &= \begin{cases} T_{ks_{\min}}, \\ I_{ks_{\min}}. \end{cases}
 \end{aligned} \tag{2.36}$$

5. Розрахунок координат паралелепіпедів рішень за початковими даними (2.36) проводиться з використанням дискретної згортки (2.11). Це обумовлено сформованими критеріальними вимогами і показниками ефективності, що відображають суть багатокритеріальної задачі структурно-параметричного синтезу системи реагування на КС. Нормування даних реалізується до суми всіх значень за індексом $j+2$ (включаючи дані K_{S_i} і $K_{S_{\min}}$). Таким чином, маємо координати паралелепіпедів рішень:

для системи, що синтезується, –

$$\begin{aligned}
 T_{ksS} &= \sum_{j=1}^{N_{ARM}^{opt}} GT_{A_j0}(1-T_{A_j0})^{-1}, \\
 I_{ksS} &= \sum_{j=1}^{N_{ARM}^{opt}} GI_{A_j0}(1-I_{A_j0})^{-1};
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

для максимальних можливостей системи, що характеризують використання всіх доступних АРМ і ІД, –

$$T_{S_{\max}} = \sum_{j=1}^{N_{ARM}} GT_{A_j0}(1-T_{A_j0})^{-1}, \quad I_{S_{\max}} = \sum_{j=1}^{N_{ARM}} GI_{A_j0}(1-I_{A_j0})^{-1}; \tag{2.38}$$

для мінімальних можливостей системи, визначених формуляром $K_{S_{\min}}$, –

$$T_{S_{\min}} = GT_{ks_{\min}0}(1-T_{ks_{\min}0})^{-1}, \quad I_{S_{\min}} = GI_{ks_{\min}0}(1-I_{ks_{\min}0})^{-1}; \tag{2.39}$$

для центра області рішень, визначеного формуляром КС, –

$$T_{ksW} = GT_{ks_i0}(1-T_{ks_i0})^{-1}, \quad I_{ksW} = GI_{ks_i0}(1-I_{ks_i0})^{-1}. \tag{2.40}$$

6. Отримані координати паралелепіпедів рішень дозволяють провести розрахунки відхилення системи Ω_{ks} і порогових значень Ω_{ksPOR}^{\min} , Ω_{ksPOR}^{\max} згідно з (2.9). При цьому передбачається, що наявність виниклої КС у відповідній БД і БЗ, а також правильна її ідентифікація дає рівність ознак:

$P_{ksW} = P_{ksS} = P_{S \min} = P_{S \max}$. Тому порядок розрахунку вказаних параметрів не наводиться. У загальному випадку маємо:

$$\begin{aligned} \Omega_{ks\text{por}}^{\min} &= \sqrt{(T_{ksW} - T_{S \min})^2 + (P_{ksW} - P_{S \min})^2 + (I_{ksW} - I_{S \min})^2}, \\ \Omega_{ks\text{por}}^{\max} &= \sqrt{(T_{ksW} - T_{S \max})^2 + (P_{ksW} - P_{S \max})^2 + (I_{ksW} - I_{S \max})^2}. \end{aligned} \quad (2.41)$$

Результати проведених розрахунків дозволяють дійти висновку щодо можливості використання сконфігурованої системи для усунення КС у вигляді бінарної характеристики: “ефективна” (умова (2.10) виконується), “неефективна” (умова (2.10) не виконується). Введення докладної шкали градації ефективності потребує додаткових досліджень.

З урахуванням викладеного, *методика структурно-параметричного синтезу складної ергатичної розподіленої інформаційно-керуючої системи реагування на конфліктні ситуації* (конфігурування системи) повинна включати етапи:

1) формування сегмента початкових даних – формулярів КС, АРМ, ІД – шляхом ідентифікації виниклої КС за інформацією апріорно сформованих БД і БЗ;

2) визначення оптимального кількісного складу АРМ системи обробки інформації і необхідних ІД із використанням оптимізаційних моделей (2.17) або (2.19);

3) синтез якісної структури системи реагування на КС відповідно до виразів (2.23) – (2.33);

4) за результатами п. 3 формування зовнішності складної ергатичної розподіленої інформаційно-керуючої системи реагування на КС: її структури і параметрів – відповідно до сегмента початкових даних – формулярів КС, АРМ та ІД;

5) оцінювання ефективності результатів конфігурування системи реагування на КС згідно з (2.34) – (2.41) з контролем умови (2.10);

6) в разі зміни поточної ситуації реалізується повторення п. 1–5 методики.

Розроблена методика базується на принципі ситуаційного управління, реалізованому з використанням методів багатокритеріального аналізу стосовно задачі аналізу і синтезу складних систем. Особливість методики полягає у спільному розв’язанні задачі структурного і параметричного синтезу системи. Етап структурного синтезу реалізований у явному вигляді, а вибором параметрів системи є опосередкований процес інтерпретації результатів структурного синтезу і прийняття відповідних відібраним АРМ та ІД ТХ як параметрів системи.

2.5. РОЗРАХУНКОВИЙ ПРИКЛАД ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДИКИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМИ РЕАГУВАННЯ НА КОНФЛІКТНІ СИТУАЦІЇ

Нехай заданий формуляр КС у вигляді (2.3), а також формуляри АРМ та ІД (2.21) (2.22). Передбачається реалізованим етап визначення оптимального кількісного складу АРМ системи обробки інформації і необхідних для них ІД, результатом чого є значення $N_{АРМ}^{opt} = 4$. Необхідно здійснити структурно-параметричний синтез (конфігурування) системи реагування на виниклу КС та оцінити ефективність реалізації цієї процедури при заданому формулярі з мінімальними вимогами до системи, що конфігурується:

$$KS_{\min} = \{P_{ks\min}, T_{ks\min}^{KS}, I_{ks\min}^{KS}\}, P_{ks\min} = a1,$$

$$T_{ks\min}^{KS} = \left\{ \begin{matrix} T_{ks11} & T_{ks12} & T_{ks13} & T_{ks14} & T_{ks15} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{matrix} \right\}, \quad (2.42)$$

$$I_{ks\min}^{KS} = \left\{ \begin{matrix} I_{ks11} & I_{ks12} & I_{ks13} & I_{ks14} \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{matrix} \right\}.$$

Розв'язання сформульованої задачі здійснюється відповідно до етапів запропонованої методики. Результати розрахунків зведені в табл. 2.3 – 2.5.

У табл. 2.3 наведені узагальнені нормовані значення, що складають формуляр системи (2.28), яка синтезується, для кожного АРМ.

Таблиця 2.3

Узагальнені нормовані значення показників

Параметр	Номер АРМ						
	1	2	3	4	5	6	7
T_{Sj_0}	0,129	0,129	0,129	0,096	0,129	0,193	0,193
GT_{j_0}	0,103	0,108	0,119	0,098	0,324	0,113	0,133
I_{Sj_0}	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
GI_{j_0}	0,110	0,110	0,220	0,094	0,110	0,132	0,220
TX_{Sj_0}	0,107	0,153	0,178	0,076	0,153	0,153	0,178
GTX_{j_0}	0,091	0,099	0,218	0,053	0,099	0,218	0,218

Комбінацією чисел табл. 2.3 враховані: вимоги, що ставляться формуляром КС до системи, яка синтезується; можливості кожного АРМ з

усунення виниклої КС; інформаційні потреби системи, що синтезується, та їх ТХ, а також пріоритети у розв'язанні часткових задач кожним АРМ з усунення КС, забезпечення інформаційних потреб кожним ІД з урахуванням їх ТХ. Дані табл. 2.3 дозволяють набути значень, що характеризують зміну узагальненого критерію оптимальності системи реагування на КС для кожного її АРМ (табл. 2.4) відповідно до моделі (2.33).

У табл. 2.4 розрахункові варіанти 1 – 8 демонструють порядок вироблення результуючого рішення щодо оптимальної конфігурації системи реагування на КС відповідно до запропонованого підходу.

Таблиця 2.4

Значення узагальненого критерію оптимальності системи

Номер розрахункового варіанта	Значення узагальненого критерію для кожного АРМ						
	Ψ_1	Ψ_2	Ψ_3	Ψ_4	Ψ_5	Ψ_6	Ψ_7
1	0,118	0,124	0,137	0,109	0,372	0,140	0,165
2	0,129	0,129	0,259	0,105	0,129	0,155	0,259
3	0,102	0,117	0,266	0,057	0,117	0,258	0,266
4	0,232	0,247	0,526	0,162	0,247	0,414	0,526
5	0,220	0,241	0,403	0,166	0,489	0,399	0,431
6	0,248	0,253	0,396	0,214	0,501	0,296	0,425
7	0,350	0,371	0,663	0,272	0,619	0,554	0,691
8	3,444	3,505	3,542	3,301	3,505	3,597	3,633

Так, для варіантів 1 – 3 параметр Ψ_j розраховується при використанні лише одного критерію в оптимізаційній моделі (2.33): 1 – T_{Sj0} ; 2 – I_{Sj0} ; 3 – TX_{Sj0} . Розрахункові варіанти 4 – 6 характеризують послідовне використання в моделі (2.33) двох критеріїв: 1 – I_{Sj0} ; 2 – T_{Sj0} ; 3 – T_{Sj0}, I_{Sj0} . Розрахунковий варіант 7 є базовим і характеризує використання для конфігурації системи повної згортки (2.33), а варіант 8 – повної згортки з одиничними вагами частинних критеріїв. У табл. 2.4 темним кольором позначені чарунки, значення яких забезпечують вибір T_{Sj0}, I_{Sj0} j -х АРМ до складу конфігурованої системи за мінімальним значенням Ψ_j .

Всі розглянуті розрахункові варіанти демонструють трансформацію рішення, що приймається, в разі зміни початкових даних. Так, розрахунковий варіант 8 демонструє вибір АРМ за найкращим відображенням формуляра КС на можливості АРМ з урахуванням характеристик ІД. Прийняті рішення пояснюються проміжними розрахунковими результатами

табл. 2.3, а їх зіставлення з початковими даними (2.3), (2.21), (2.22) дозволяють дійти висновку щодо адекватності сформованої оптимізаційної моделі (2.33). Без урахування значень вагових коефіцієнтів для даного практичного випадку 2-ге і 5-те АРМ є рівнозначними, що також демонструє правильність запропонованого підходу. Проводячи аналогічний порівняльний аналіз для спрощених розрахункових варіантів 1 – 6, можна переконатися в обґрунтованості рішень базового розрахункового варіанта 7.

Таким чином, відповідно до варіанта 7 для реагування на виниклу КС із формуляром (2.3) при заданих формулярах АРМ (2.21) та ІД (2.22) слід використовувати сконфігуровану систему, що складатиметься з чотирьох АРМ із номерами 1, 2, 4, 7 із відповідними ІД, що забезпечують їх функціонування.

Таблиця 2.5

Проміжні результати розрахунків

		$ES_j(T_{ksj}^{ES}) \times KS_i(T_{ksj}^{KS})$					T_{Sj}		GT_j	
		T_{ks11}^{modES}	T_{ks12}^{modES}	T_{ks13}^{modES}	T_{ks14}^{modES}	T_{ks15}^{modES}				
Номер АРМ	1	0	1	1	0	1	T_{S1}	3	GT_1	22
	2	1	0	1	0	1	T_{S2}	3	GT_2	21
	3	1	1	0	0	1	T_{S3}	3	GT_3	19
	4	1	1	1	0	1	T_{S4}	4	GT_4	23
	5	1	1	1	0	0	T_{S5}	3	GT_5	7
	6	0	0	1	0	1	T_{S6}	2	GT_6	20
	7	1	0	0	0	1	T_{S7}	2	GT_7	17
N_{kod}		1	2	4	8	16				
		N_{kod1}	N_{kod2}	N_{kod3}	N_{kod4}	N_{kod5}				

Результати застосування операції відображення формуляра КС (3) на формуляр кожного j -го АРМ (21) (відповідно до (24)) за параметром T_{ks} представлені в колонках T_{ks}^{modKS} табл. 2.5. При цьому вимогу формуляра КС за виконуваними завданнями у повному обсязі задовольняють можливості 4-го АРМ (див. стовпці T_{Sj} табл. 2.5, формуляри КС (3) та АРМ (21)). Найгіршими щодо цього є 6-те, 7-ме АРМ, а 1 – 5-те АРМ рівнозначні. Аналогічні висновки можна зробити, аналізуючи результати рядка T_{Sj0} табл. 2.3. Вагові коефіцієнти GT_j (табл. 2.5), що відображають позиційну значущість кожного виконуваного АРМ завдання, відповідно до закону двійкового ряду N_{kod} , дозволяють пояснити отримані значення узагальненого критерію оптимальності системи для першого розрахункового

варіанта табл. 2.4. Так, найкращим як і раніше залишається 4-те АРМ, тобто оптимізаційна модель (33) дає очевидне розв'язання. Пояснити результати порівняння значущості 1 – 3-го, 5 – 7-го АРМ за даними табл. 2.4 першого розрахункового варіанта при їхньому відборі для використання в синтезованій системі можна, зіставляючи значення вагових коефіцієнтів GT_j , параметрів T_{S_j} та отриманого ряду виконуваних завдань $T_{ks}^{\text{mod } KS}$. Слід зазначити обумовленість одержуваних при цьому розв'язків. Аналогічні міркування для розрахункових варіантів 2 – 8 табл. 4 також доводять їхню правильність.

Отже, проведені дослідження свідчать про адекватність сформованих розв'язків. Таким чином, відповідно до варіанта 7 для реагування на виниклу КС із формуляром (3) при заданих формулярах АРМ (21) та ІД (22) слід використовувати сконфігуровану систему, що складається з чотирьох АРМ із номерами 1, 2, 4, 7, що й забезпечують їхнє функціонування ІД.

Для оцінювання ефективності сконфігурованої системи розраховані координати паралелепіпедів рішень і відповідних відхилень (див. табл. 2.6).

Отримані дані дозволяють дійти висновку, що відповідно до прийнятої термінології і введених понять для сформованого сегмента початкових і розрахункових даних синтезована (конфігурована) система за своєю структурою і параметрами є ефективною для усунення виниклої КС.

Таким чином, запропонована методика дозволяє реалізувати структурно-параметричний синтез системи з отриманням адекватного результату для ефективного реагування на виниклу КС.

Особливостями запропонованого підходу в порівнянні з відомими аналогами є: багатокритеріальна формалізація початкової задачі синтезу та її розв'язання з використанням технології вкладених згорток; ситуативне конфігурування системи залежно від КС, що склалася на даний момент, наявних джерел інформації та їх характеристик, доступного складу виконавчих елементів; спільне розв'язання задач структурного і параметричного синтезу; вперше запропонована узагальнена оцінка і граничні умови ступеня відображення в системі, що синтезується, конфліктної ситуації.

Розроблений підхід може використовуватися і для інших класів інформаційно-керуючих систем, для яких не застосовується принцип ситуаційного управління в його повному розумінні, наприклад: систем моніторингу радіочастотного ресурсу; систем моніторингу засобів масової інформації з метою пошуку заданого контенту або виявлення контрольованої ситуації тощо.

Таблиця 2.6

Координати паралелепіпеда рішень і параметри відповідних відхилень

Координати паралелепіпеда рішень									
Для варіанта 7		Для варіанта 8		$T_{S \min}$	$I_{S \min}$	$T_{S \max}$	$I_{S \max}$	T_{ksW}	I_{ksW}
T_{ksS}	I_{ksS}	T_{ksS1}	I_{ksS1}						
0,492	0,520	0,723	0,494	0,111	0,063	0,897	0,985	0,115	0,068
Параметри відхилень системи									
Ω_{ksPOR}^{\min}		Ω_{ks} для варіанта 7		Ω_{ks} для варіанта 8		Ω_{ksPOR}^{\max}			
0,061 $\cdot 10^{-2}$		0,589		0,743		1,205			

При цьому нерозв'язаними залишаються наукові задачі, які слід виділити як перспективні для подальших досліджень, а саме:

включення споживачів інформації в реалізацію етапів структурно-параметричного синтезу системи реагування на КС як елемента зі змінною структурою і параметрами;

розробка алгоритму ідентифікації КС, урахування її напруженості;

обробка інформації на рівні прийняття рішень за наявності декількох часткових рішень за різними джерелами в межах кожного АРМ і системи в цілому, врахування підготовленості оператора АРМ, впливу на його роботу (і роботу системи) напруженості виниклої КС, зовнішніх чинників тощо;

реалізація оцінювання ефективності конфігурування системи реагування на КС за результатами її цільового використання, а також розширення градації характеристик ефективності.

Таким чином, у ході досліджень розроблена методика структурно-параметричного синтезу складної ергатичної розподіленої інформаційно-керуючої системи реагування на конфліктні ситуації з використанням методів багатокритеріального аналізу. Синтез структури системи проведений на базі ідеології ситуаційного управління. Отримані результати розрахункового прикладу доводять адекватність сформованих для розв'язання задачі синтезу багатокритеріальних оптимізаційних моделей.

2.6. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИТУАЦІЙНОГО СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ

В умовах геополітичних змін сучасності особливу роль відіграють безконтактні (несилові) методи досягнення політичних та економічних цілей окремих держав світу. Одним із ефективних засобів несилкових

методів ведення протидії в епоху тотальної інформатизації суспільства постають методи інформаційно-психологічного протиборства. На сьогодні остаточно ще не визначені єдині концептуальні погляди на проблеми інформаційної боротьби, а також на інформаційно-психологічне протиборство в цілому. Справа в тому, що феномен інформаційно-психологічного забезпечення застосування воєнної сили в сучасних умовах є надзвичайно складним за своєю структурою і потребує постійного вивчення та узагальнення.

До заходів інформаційно-психологічної протидії окрім іншого належить функція моніторингу інформаційного простору (теле- і радіоэфір, інформаційних ресурсів Інтернет, засобів друкованої пропаганди тощо) з метою своєчасного виявлення ознак інформаційно-психологічного впливу та оцінювання заходів протидії йому [71]. Реалізація зазначених заходів передбачає використання складних програмно-апаратних систем моніторингу інформаційного простору (СМІнП), які включають сегмент сенсорів (інформаційних джерел (ІД) моніторингу інформаційного простору), систему обробки інформації (сукупності автоматизованих робочих місць (АРМ), на яких здійснюється накопичення й обробка інформації, отриманої від сенсорів), та персоналу – досвідчених фахівців, які виконують цільові завдання на АРМ [71]. Виконання цільових завдань СМІнП здійснюється за умов динамічної зміни поточної обстановки і значного інформаційного завантаження, а отже в разі виникнення важливих оперативних завдань (ОЗ) їх виконання потребує раціонального виділення ресурсів системи моніторингу із збереженням потенційної ефективності виконання поточних задач. Для усталеної структури СМІнП розв'язати сформульоване **актуальне** завдання можливо із застосуванням технології ситуаційного структурного синтезу для системи моніторингу інформаційного простору.

Базові положення ситуаційного управління, запропоновані в роботі [117], передбачають реалізацію певного набору дій управління відповідно до ситуації, що склалася (для нашого випадку відповідно до суті оперативного завдання). Залишаючи обговорення питань ідентифікації поточної ситуації, приймаючи за постійну величину ефективність роботи операторів АРМ, розглядатимемо лише задачу ситуаційного структурного синтезу (конфігурування) СМІнП на рівні вибору АРМ та ІД. Конфігурування СМІнП передбачає визначення її структури та належить до класу задач аналізу і синтезу складних систем. Структурний синтез складних систем достатньо показово представлений роботами [27, 35, 102, 143] і, як правило, включає етапи: формування вимог до системи; вибір її складових та опис порядку їх взаємодії; формування варіантів побудови системи з подальшим визначенням оптимального з них. Основними недоліками

класичних підходів стосовно СМІнП є складність їх практичного застосування у разі розгляду різнорідних розподілених систем, а також використання здебільшого однокритерійних цільових функцій ефективності. Разом з тим показано, що ефективність розв'язання такого класу завдань підвищується із застосуванням методів багатокритерійного аналізу [27, 35].

Структурний синтез системи стосується ситуаційного процесу конфігурування системи моніторингу інформаційного простору – вибір оптимальної структури (складу) системи відповідно до пріоритетного оперативного завдання моніторингу. Для цього слід сформулювати математичну оптимізаційну модель, що забезпечуватиме формування оптимального складу (підсистеми) СМІнП, яка б найкращим чином забезпечувала виконання ОЗ.

Розробка математичної моделі починається з математичної формалізації задачі синтезу. Нехай i -те ($i = 1 \dots I$) ОЗ – KS_i характеризується множиною, яка складається з трійки: P_{ks} – ознака ОЗ, становить собою унікальну для кожного її типу літерно-цифрову комбінацію; T_{ks} – множина часткових задач системи, спрямованих на виконання ОЗ (формується виходячи із завдань системи в цілому та завдань окремих АРМ); I_{ks} – множина інформаційних потреб системи щодо виконання ОЗ. Тоді *формуляр* ОЗ задається множиною

$$KS_i = \{P_{ksi}, T_{ksj}^{KS}, I_{ksf}^{KS}\}, i = 1 \dots I, j = 1 \dots J, f = 1 \dots F. \quad (2.43)$$

У свою чергу множини задач та інформаційних складових щодо виконання i -го ОЗ можна подати у вигляді підмножин

$$\begin{aligned} T_{ksj}^{KS} &= \{T_{ksi1}, T_{ksi2}, T_{ksi3}, \dots, T_{ksil}, \dots, T_{ksil_i}\}, i = 1 \dots I_i, \\ I_{ksf}^{KS} &= \{I_{ksi1}, I_{ksi2}, I_{ksi3}, \dots, I_{ksik}, \dots, I_{ksiK_i}\}, k = 1 \dots K_i. \end{aligned} \quad (2.44)$$

Для кожного ОЗ кількість елементів множини T_{ksj}^{KS} і I_{ksf}^{KS} може бути різною, що відображено у верхніх межах зміни коефіцієнтів l, k . При цьому часткові задачі у множині (2.44) нерівнозначні, а більший пріоритет мають ті, яким встановлено старший номер у переліку. Формуляри КС зберігаються в попередньо сформованій з урахуванням призначення та можливостей системи бази даних (БД), яка модифікується і поповнюється в процесі експлуатації системи моніторингу.

У формулярі ОЗ елементи множин $KS_i - T_{ksil}, I_{ksik}$ – набувають бінарних значень одиниці за наявності відповідної задачі моніторингу ($T_{ksil} = 1$), а також відповідної інформаційної складової ($I_{ksik} = 1$) і нуля в

іншому випадку. Це забезпечує проведення послідовних розрахунків щодо системи моніторингу. Лінгвістичні характеристики параметрів T_{ksil} , I_{ksik} , необхідні для виконання задач персоналом СМІП, містяться в базі знань (БЗ) про ОЗ, яка розміщена на серверній частині засобів апаратної підтримки системи моніторингу.

Приклад формуляра ОЗ представлений у вигляді

$$\begin{aligned}
 KS_1 &= \{P_{ks1}, T_{ks1}^{KS}, I_{ks1}^{KS}\}, P_{ks1} = a1, \\
 T_{ks1}^{KS} &= \left\{ \begin{matrix} T_{ks11} & T_{ks12} & T_{ks13} & T_{ks14} & T_{ks15} \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{matrix} \right\}, L_1 = 5, \\
 I_{ks1}^{KS} &= \left\{ \begin{matrix} I_{ks11} & I_{ks12} & I_{ks13} & I_{ks14} \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{matrix} \right\}, K_1 = 4.
 \end{aligned} \tag{2.45}$$

У прикладі (2.45) показано, що ОЗ, яка зберігається у БД під першим номером із літерно-цифровою ознакою $P_{ks1} = a1$, передбачає виконання п'яти можливих задач моніторингу, з яких необхідними для реалізації є перша, друга, третя та п'ята задачі. Для їх виконання необхідно забезпечити доступ до трьох (першого, другого та третього) з чотирьох можливих інформаційних джерел.

Опис системи обробки інформації реалізується для кожного її окремого елемента – АРМ, як технічної системи без урахування впливу на її властивості ефективності роботи персоналу. Математичний опис системи обробки логічно проводити в термінах, прийнятих для формуляра ОЗ, а тому кожне АРМ буде характеризуватися множиною із переліку задач та інформаційних потреб (*формуляром АРМ*)

$$ES_j = \{T_{ksj}^{ES}, I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ID})\}. \tag{2.46}$$

Елементи множини (2.46): $T_{ksj}^{ES}, I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ID})$ – у розширеній формі можуть бути подані у вигляді (2.44), а функціональне позначення $I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ES})$ характеризує взаємозв'язок інформаційних складових j -го АРМ, що забезпечуються інформаційними можливостями f -го ІД.

Опис джерел інформації характеризується множиною пар (*формуляром ІД*): I_{ks}^{ID} – перелік інформаційних можливостей ІД; TX – перелік технічних характеристик (ТХ) ІД, що забезпечують їх можливості

$$ID_f = \{I_{ksf}^{ID}, TX_f\}. \tag{2.47}$$

Параметри I_{ks}^{ID} мають аналогічний раніше викладеному опис. При цьому перелік одиниць значень (2.46) та (2.47), сформованих відповідно до (2.44), можуть і не збігатися.

Подальша реалізація структурного синтезу СМІП потребує встановлення вимог оптимальності до результату конфігурування у вигляді сукупності частинних критеріїв. Цей етап пропонується реалізувати шляхом вибору такого переліку АРМ і необхідних для їх функціонування ІД, в яких найкращим чином відображається отримане ОЗ.

Поняття найкращого відображення ОЗ у СМІП потребує уточнення у вигляді конкретних критеріальних вимог. Для цього здійснюється послідовність взаємних відображень формулярів ОЗ, АРМ та ІД шляхом перемноження відповідних елементів множин $KS_i = \{P_{ksi}, T_{ksj}^{KS}, I_{ksf}^{KS}\}$, $ES_j = \{T_{ksj}^{ES}, I_{ksf}^{ES}\}$ і $ID_f = \{I_{ksf}^{ID}, TX_f\}$. Цим реалізується формування свого роду унікальної числової кодової комбінації для кожного АРМ з урахування специфіки ОЗ, можливостей ІД та їх ТХ. Пріоритет у реалізації послідовності операцій формуляра ОЗ враховується шляхом розрахунку відповідних вагових коефіцієнтів пропорційно до двійкового коду представлення десяткового числа у вигляді

$$N_{kod} = \left\{ \frac{N_{kod1}}{2^0}, \frac{N_{kod2}}{2^1}, \frac{N_{kod3}}{2^2}, \dots \right\}. \quad (2.48)$$

Порядок реалізації описаних дій здійснюється так.

1. Відображення формуляра КС на формуляр АРМ у частині, що стосується переліку необхідних до виконання задач

$$\left[ES_j(T_{ksj}^{ES}) \times KS_i(T_{ksj}^{KS}) \right] = T_{ksj}^{\text{mod } KS}. \quad (2.49)$$

Тут і далі введені функціональні позначення $ES_j(T_{ksj}^{ES})$, $KS_i(T_{ksj}^{KS})$ характеризують відповідні елементи множин, які створюють формуляри ОЗ і АРМ, а реалізація операцій їхнього взаємного відображення здійснюється шляхом множення елементів складових підмножин.

2. Відображення формуляра ІД на формуляр АРМ відносно інформаційних потреб:

$$\left[ES_j(I_{ksj}^{ES}(I_{ksf}^{ID})) \times ID_f(I_{ksf}^{ID}) \right] = I_{ksj}^{\text{mod } ID}. \quad (2.50)$$

3. Відображення формуляра ОЗ на результати п.2 (2.50):

$$\left[I_{ksj}^{\text{mod } ID} \times KS_i(I_{ksf}^{KS}) \right] = I_{ksj}^{\text{mod } ID, KS}. \quad (2.51)$$

4. Відображення результатів п.3 (2.51) на формуляр ІД стосовно їх TX:

$$\left[ID_f(TX_{ksf}) \times I_{ksj}^{\text{mod } ID,KS} \right] = TX_{ksj}^{\text{mod } ID,KS}. \quad (2.52)$$

Результатом описаних операцій є *формуляр СМІП*, узгоджений з ОЗ, який включає опис кожного АРМ та можливості ІД:

$$S = \left\{ p_{ks}, T_{ksj}^{\text{mod } KS}, I_{ksj}^{\text{mod } ID,KS}, TX_{ksj}^{\text{mod } ID,KS} \right\}. \quad (2.53)$$

5. Параметри, що складають формуляр систем, застосовуються далі для розрахунку їх вагових коефіцієнтів для кожного АРМ. При цьому використовується двійковий ряд (2.48) і враховується порядок створення формулярів ОЗ, АРМ та ІД. Розрахунок вагових коефіцієнтів для кожного параметра формуляра (2.53) реалізується з використанням виразів:

$$\begin{aligned} GT_j &= \left[T_{ksj}^{\text{mod } KS} \times N_{kod} \right], & GI_j &= \left[I_{ksj}^{\text{mod } ID,KS} \times N_{kod} \right], \\ GTX_j &= \left[TX_{ksj}^{\text{mod } ID,KS} \times N_{kod} \right]. \end{aligned} \quad (2.54)$$

6. Надалі реалізується знаходження сум значущих позицій із переліку параметрів формуляра (2.53) і вагових коефіцієнтів (2.54) для кожного АРМ:

$$T_{Sj} = \sum_{l=1}^{L_i} T_{ksj}^{\text{mod } KS} (T_{ksil}), \quad I_{Sj} = \sum_{k=1}^{K_i} I_{ksj}^{\text{mod } ID,KS} (I_{ksik}), \quad (2.55)$$

$$TX_{Sj} = \sum_{m=1}^{M_i} TX_{ksj}^{\text{mod } ID,KS} (TX_{ksim}),$$

$$GT_{Sj} = \sum_{l=1}^{L_i} GT_j (GT_{ksil}), \quad GI_{Sj} = \sum_{k=1}^{K_i} GI_j (GI_{ksik}), \quad (2.56)$$

$$GTX_{Sj} = \sum_{m=1}^{M_i} GTX_j (GTX_{ksim}).$$

Отримані результати становлять собою узагальнені значення показників $T_{ksj}^{\text{mod } KS}$, $I_{ksj}^{\text{mod } ID,KS}$, $TX_{ksj}^{\text{mod } ID,KS}$ та їх вагових коефіцієнтів GT_j , GI_j , GTX_j і є вихідними для формування критеріальних вимог конфігурування СМІП. При цьому оптимальною вважатимемо структуру системи, що забезпечує: виконання найбільшої кількості функцій АРМ із заданих формуляром ОЗ $T_{Sj} \rightarrow \max$; найбільшу кількість використаних для виконання ОЗ ІД $I_{Sj} \rightarrow \max$ з найкращими TX $TX_{Sj} \rightarrow \max$.

Таким чином, маємо систему критеріальних вимог для реалізації структурного синтезу СМІнП:

$$\begin{cases} T_{Sj} \rightarrow \max, \\ I_{Sj} \rightarrow \max, \\ TX_{Sj} \rightarrow \max. \end{cases} \quad (2.57)$$

Розв'язання багатокритеріальної задачі структурного синтезу СМІнП будемо здійснювати шляхом зведення її до однокритеріальної форми – формування багатокритеріальної математичної оптимізаційної моделі ситуаційного структурного синтезу. Пропонується формування єдиної цільової функції із системи критеріїв (2.57) реалізувати з використанням згортки за нелінійною схемою компромісів [35]. Порівняно з іншими схемами оптимізації згортки має ряд переваг: оптимізаційна задача розв'язується за наявності обмежень, у яких гарантується унімодалність функції узагальненого критерію оптимальності; рішення оптимізаційної задачі належить до області Парето; відносно невелика обчислювальна складність алгоритму пошуку рішення. Згортка для дискретно заданих частинних критеріїв має вигляд [35]

$$Y(y_0) = \sum_{m=1}^b \gamma_{0m} (1 - y_{0m})^{-1} \rightarrow \min, \quad (2.58)$$

де $m = 1..b$ – кількість включених у згортку частинних критеріїв оптимальності; γ_{0m} – нормований ваговий коефіцієнт; y_{0m} – нормований частинний критерій оптимальності. Нормування частинних критеріїв оптимальності здійснюється з метою приведення їх до безрозмірної форми, що мінімізується, на обмеженому інтервалі їх розгляду. Для дискретного способу опису частинних критеріїв реалізувати їх нормування, а також нормування вагових коефіцієнтів можливо, наприклад, згідно з виразами:

$$\varphi_{0m} = \frac{\varphi_{mp}^{\min}}{\sum_{p=1}^{K_{\min}} \varphi_{mp}^{\min}}, \quad \varphi_{0m} = \left(\varphi_{mp}^{\max} \sum_{p=1}^{K_{\max}} \frac{1}{\varphi_{mp}^{\max}} \right)^{-1}, \quad \gamma_{0m} = \frac{\gamma_m}{\sum_{m=1}^b \gamma_m}, \quad (2.59)$$

де $p = K_{\min}, K_{\max}$ – кількість дискретних значень у вибірці, що характеризує зміну критеріїв, які мінімізуються φ_{mp}^{\min} і максимізуються φ_{mp}^{\max} .

У прийнятих позначеннях формалізованої задачі синтезу СМІнП як вагові коефіцієнти використовуються величини GT_j, GI_j, GTX_j , які відображають значущість кожного АРМ за параметрами T_{Sj}, I_{Sj}, TX_{Sj} ,

відповідно до прийнятого порядку формування множин $T_{ksj}^{\text{mod } KS}$, $I_{ksj}^{\text{mod } ID, KS}$, $TX_{ksj}^{\text{mod } ID, KS}$ перетворених із позиційного коду в десяткове число згідно з (2.54) і (2.56). Реалізувавши нормування частинних критеріїв (2.57) і вагових коефіцієнтів (2.56) (в межах зміни індексу j) у відповідності до виразу нормування частинних критеріїв, що максимізуються (див. вир. (2.59)), застосовуючи (2.58) до (2.57), отримаємо *математичну модель ситуаційного структурного синтезу системи моніторингу інформаційного простору*:

$$\Psi_j = GT_{j0}(1 - T_{Sj0})^{-1} + GI_{j0}(1 - I_{Sj0})^{-1} + GTX_{j0}(1 - TX_{Sj0})^{-1} \rightarrow \min. \quad (2.60)$$

Використання моделі (2.60) дає набір значень, які характеризують зміну узагальненого критерію оптимальності системи, що синтезується Ψ_j , – узагальнену характеристику ефективності кожного j -го АРМ, даних до нього ІД (із заданого обмеженого складу СМІнП) стосовно можливостей кожного з них виконати конкретне ОЗ. Відповідно до сутності формування моделі (2.60) найкращим є j -те АРМ із мінімальним значенням Ψ_j . Отже, маємо ієрархію АРМ із ІД, яка надається керівнику СМІнП для прийняття рішення про формування підсистеми з відпрацювання конкретного ОЗ. Така підсистема може формуватись з одного або декількох АРМ із мінімальними значеннями Ψ_j . Кількісний склад підсистеми обирається виходячи із умов поточної обстановки.

Таким чином, сформовано багатокритерійну математичну оптимізаційну модель ситуаційного структурного синтезу СМІнП (2.60). Модель отримана із використанням згортки за нелінійною схемою компромісів на підставі частинних критеріїв, у яких враховано специфіку ОЗ, можливості кожного АРМ, ІД та їх ТХ.

Дієвість та адекватність сформованої таким чином моделі доводиться конкретним прикладом її застосування.

Формування початкових даних розрахункового прикладу здійснюється у термінах формулярів ОЗ, АРМ, ІД, а лінгвістичний їх сенс для чотирьох доступних АРМ, з відповідним обладнанням та інформаційними джерелами подано у вигляді табл. 2.7. Дані табл. 2.7 конкретизують склад формулярів КС, АРМ, ІД для СМІнП.

На підставі наведених даних сформовано конкретні значення для складових відповідних формулярів, які для зручності подано у вигляді

табл. 2.8, 2.9. При цьому формуляр ОЗ (усі одиничні значення) сформовано для отримання очевидного рішення – вибір АРМ із максимальною кількістю збігів із формуляром ОЗ. Це забезпечує перевірку адекватності сформованої оптимізаційної моделі (2.60). у табл. 2.9 перелік ТХ ІД є узагальненою характеристикою, що встановлена за десятибальною шкалою (найкраще ІД – 10, найгірше – 1). Для даного конкретного випадку узагальнену ТХ для ІД встановлює експерт з урахуванням: надійності, повноти, своєчасності інформації, що надається від нього.

Проміжні дані, щодо розрахунку нормованих значень зміни вагових коефіцієнтів (2.56) і критеріальних функцій (2.57) наведені в табл. 2.10.

Комбінацією чисел табл. 2.10 враховано: вимоги, що ставляться до СМІнП формуляром ОЗ; можливості кожного АРМ із виконання ОЗ; інформаційні потреби системи та ТХ інформаційних джерел.

Вихідні дані табл. 2.10 дозволяють отримати значення, що характеризують зміну узагальненого критерію оптимальної СМІнП для кожного її АРМ відповідно до оптимізаційної моделі (2.60).

За мінімальним значенням параметра Ψ_j приймається рішення про вибір АРМ із відповідним обладнанням та ІД для виконання конкретного ОЗ. Так, якщо необхідно обрати два АРМ для їх використання щодо виконання поставленого оперативного завдання, то вони мають бути третім і четвертим (сірий фон колонок табл. 2.11 із мінімальними значеннями Ψ_j). Переконатись в адекватності отриманого рішення і дієвості сформованої оптимізаційної моделі (2.60) можливо за критерієм найбільшого відображення формуляра ОЗ у формулярах АРМ на підставі даних табл. 2.8 – очевидне рішення.

Таким чином, запропоновано математичну модель ситуаційного структурного синтезу системи моніторингу інформаційного простору. Приклад застосування запропонованої моделі для початкових даних з очевидним розв'язком довів її адекватність та дієвість. У подальших дослідженнях планується внести ергатичну складову (оператора АРМ) у контур структурного синтезу системи.

Лінгвістичне тлумачення вмісту формулярів ОЗ, АРМ, ІД

Рівень системи обробки інформації							
ПЕОМ у комплекті		ПЕОМ у комплекті		ПЕОМ у комплекті		ПЕОМ у комплекті	
СПЗ 1		СПЗ 2		СПЗ 3		СПЗ 4	
АРМ 1 – моніторингу телерадіоєфіру та обробки відеоінформації		АРМ 2 – накопичення та обробки графічної інформації		АРМ 3 – обробки звукової інформації		АРМ 4 – відображення аудіо-відеоматеріалів	
Задачі АРМ 1		Задачі АРМ 2		Задачі АРМ 3		Задачі АРМ 4	
Позначення, тлумачення		Позначення, тлумачення		Позначення, тлумачення		Позначення, тлумачення	
T_{ks11}	моніторинг телевізійних каналів супутникового телебачення, ефірного аналогового і цифрового телебачення, радіопрограм	T_{ks21}	створення анімаційних роликів;	T_{ks11}	моніторинг радіопростору	T_{ks41}	відображення відеопродукції
T_{ks12}	розробка та виготовлення відеопродукції спрямованого змісту	T_{ks12}	створення титрів і спеціальних відеоефектів та елементів комп'ютерної графіки для відеоматеріалів	T_{ks31}	відбір, накопичення та створення аудіоматеріалів	T_{ks42}	відображення аудіоматеріалів
T_{ks13}	розмноження відео- та аудіоінформації на різних носіях (відеокасети, CD та DVD диски)	T_{ks22}	обробка графічного та фотграфічного матеріалу	T_{ks32}	розробка та запис аудіоматеріалів для звукомовних станцій, підготовка до трансляції власних радіопередач		
		T_{ks12}	розробка та виготовлення поліграфічної продукції для супроводження відеоматеріалів	T_{ks33}	тиражування аудіоматеріалів на магнітних та оптичних носіях інформації.		
		T_{ks23}	розробка презентаційних матеріалів для забезпечення прес-конференцій, брифінгів				

Таблиця 2.9

Зведені значення формулярів

	ОЗ	АРМ 1	АРМ 2	АРМ 3	АРМ 4	ІД1	ІД2	ІД3	ІД4		ІД1	ІД2	ІД3	ІД4
I_{11}	1	1	1	1	0	1	1	1	1	TX_{11}	3	6	2	3
I_{12}	1	1	0	0	0	1	0	0	1	TX_{12}	4	1	1	3
I_{13}	1	1	0	0	0	1	0	0	1	TX_{13}	7	1	1	8
I_{14}	1	1	0	0	0	1	0	0	1	TX_{14}	7	1	1	3
I_{15}	1	1	0	0	0	1	0	0	1	TX_{15}	8	1	1	3
I_{16}	1	1	0	0	0	1	0	0	1	TX_{16}	2	1	1	8
I_{17}	1	1	0	0	0	1	0	0	0	TX_{17}	3	1	1	4
I_{18}	1	1	1	1	0	1	1	1	1	TX_{18}	8	3	4	3
I_{19}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	TX_{19}	2	6	6	8
I_{21}	1	1	1	0	0	0	1	0	0	TX_{21}	1	9	1	3
I_{22}	1	0	1	1	0	0	1	1	1	TX_{22}	1	1	4	8
I_{23}	1	0	1	0	0	0	1	0	1	TX_{23}	1	3	1	4
I_{24}	1	0	1	0	0	0	1	0	0	TX_{24}	1	6	1	8
I_{25}	1	0	1	0	0	0	1	0	1	TX_{25}	1	9	1	8
I_{31}	1	0	1	1	0	0	0	1	0	TX_{31}	1	1	9	3
I_{32}	1	0	0	1	0	0	0	0	0	TX_{32}	1	1	1	4
I_{41}	1	0	0	0	1	0	0	0	1	TX_{41}	1	1	1	3
I_{42}	1	0	0	0	1	0	0	0	1	TX_{42}	1	1	1	8

Таблиця 2.10

Узагальнені нормовані значення показників

Параметри	Номер АРМ j			
	1	2	3	4
$T_{S,j0}$	0,139	0,139	0,039	0,096
GI_{j0}	0,113	0,118	0,019	0,098
$I_{S,j0}$	0,140	0,140	0,140	0,140
GI_{j0}	0,120	0,110	0,020	0,094
$TX_{S,j0}$	0,117	0,153	0,068	0,076
GTX_{j0}	0,061	0,089	0,028	0,053

Таблиця 2.11

Значення узагальненого критерію оптимальності системи моніторингу

Значення узагальненого критерію для кожного АРМ			
Ψ_1	Ψ_2	Ψ_3	Ψ_4
3,609	3,124	3,074	3,018

2.7. МЕТОДИКА СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРНЕТИЧНИХ ЗАГРОЗ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МОНІТОРИНГУ ВІДКРИТИХ РЕСУРСІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Поява нового середовища протиборства – кіберпростору – обумовила виникнення специфічного виду загроз безпеці особистості, суспільству, державі [51]. Завчасна нейтралізація або стримування кібернетичних загроз (КЗ) вимагає їх своєчасного виявлення за притаманними ознаками. У [44] доведено можливість виявлення КЗ на підставі аналізу відомостей, що містяться у відкритих ресурсах інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС), під якими слід розуміти ресурси, що не потребують аутентифікації доступу. Лавиноподібне зростання обсягів новоствореної та невпорядковане накопичення застарілої інформації, що міститься на відкритих ресурсах ІТС [50], значно ускладнює процес добування відомостей, які цікавлять, та вимагає значних часових витрат на виявлення КЗ. Обсяги повідомлень, що підлягають перегляду та обробці, несумірні з можливостями сучасних технічних засобів, ресурс яких здебільшого є обмеженим. Виникає проблема своєчасного виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих інформаційних ресурсів ІТС, в умовах обмеженості виділених (наявних) сил і засобів моніторингу.

Одним із шляхів розв'язання зазначеної проблеми є синтез оптимальної за структурою та параметрами системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС, яка б на підставі достовірної інформації, отриманої за рахунок перегляду максимальної кількості

повідомлень, забезпечувала своєчасне виявлення існуючих та потенційних КЗ.

Результати досліджень щодо розробки та функціонування систем добування інформації з відкритих джерел відображені у значній кількості наукових праць. У [76, 87, 89, 128] на підставі функціонального призначення таких систем за допомогою евристичних методів наведено їх загальний опис та запропоновано структуру. Аналіз зазначених праць свідчить про можливість узагальнення викладених у них підходів та виділення спільних елементів структури системи, що розглядається. Однак питання обґрунтування кількісного та якісного складу системи (її структурно-параметричного синтезу) у зазначених працях висвітлені як другорядні або такі, що не враховують особливостей архітектури ІТС.

Разом з тим ціла низка наукових праць, присвячених розв'язанню задач структурного та параметричного синтезу складних систем [13, 18, 35, 143], дає можливість застосовувати запропоновані у них підходи до обґрунтування структури та складу системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих інформаційних ресурсів ІТС та її системних параметрів. Однак основним недоліком відомих підходів до вирішення задачі синтезу з огляду на зазначену систему є складність їх застосування для різнорідних розподілених систем, а також використання здебільшого однокритеріальної функції ефективності. Натомість у [27, 35, 36], показано, що ефективність розв'язання такого класу задач підвищується із застосуванням методів багатокритерійного аналізу.

Метою досліджень цього розділу є формалізація процесу синтезу оптимальної за структурою та параметрами системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС для підвищення оперативності вирішення завдання виявлення КЗ.

Синтез системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС пропонується здійснювати у два етапи: на першому етапі, застосувавши евристичний метод для визначення складу, призначення та функцій системи, здійснити розробку її структури; на другому етапі, скориставшись оптимізаційними методами для визначення оптимального складу компонентів системи, обґрунтувати параметри її елементів.

Загалом система виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС становить собою автоматизовану обчислювальну систему зі спеціалізованим програмним забезпеченням, яка здійснює моніторинг повідомлень, розмішених на ресурсах ІТС, та підтримку прийняття рішення про наявність ознак КЗ на підставі аналізу добутих відомостей. Призначення даної системи полягає у реалізації таких основних функцій: пошук відомостей, що можуть містити ознаки КЗ; збір та реєстрація відомостей; накопичення та актуалізація відомостей в

інформаційній базі; логічна і змістова обробка відомостей при прийнятті рішення про наявність та рівень КЗ; формування та видача замовнику формалізованого документа.

Наведені основні функції системи можна об'єднати у дві функціональні групи: моніторингу інформаційних джерел та обробки добутих відомостей. При цьому функціональна група моніторингу інформаційних джерел розподіляється ще на дві підгрупи: пошуку та спостереження [146]. Виходячи із зазначеного та на підставі аналізу існуючих підходів до формування складу системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС, загальний обрис системи можна представити у вигляді сукупності таких збільшених компонент, що реалізують визначені функціональні групи (рис. 2.5):

- підсистема пошуку;
- підсистема спостереження;
- підсистема ідентифікації КЗ.

Підсистеми пошуку і спостереження, що реалізують функціональну групу моніторингу, призначені для добування цільових відомостей із ресурсів ІТС. Функціональна група обробки добутих відомостей представлена підсистемою ідентифікації КЗ, яка включає спеціалізовані засоби для накопичення та обробки інформаційних масивів, аналізу добутих відомостей, виявлення та ідентифікації ознак КЗ, відображення вихідних аналітичних матеріалів. При цьому всі компоненти системи поєднані один з одним мережею двосторонніх зв'язків.

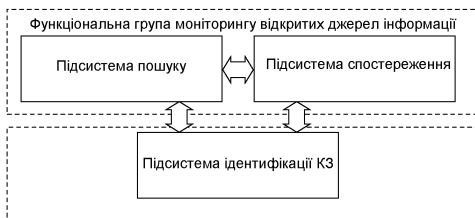


Рис. 2.5

Слід зазначити, що кожна з підсистем характеризується пріоритетністю для функціонування системи в цілому. Так, моніторинг відкритих джерел має вищий пріоритет, ніж обробка добутих відомостей, адже аналіз відомостей вимагає їх попереднього добування. У свою чергу складові компоненти моніторингу (пошук та спостереження) також розділяються за пріоритетом. Підсистема пошуку має вищий пріоритет, ніж підсистема

спостереження, адже спостереження інформаційних джерел потребує першочергового визначення їх місцезнаходження. Відповідно можна встановити такий порядок пріоритетності складових системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС:

1. Підсистема пошуку.
2. Підсистема спостереження.
3. Підсистема ідентифікації КЗ.

Кожній із зазначених компонент може бути поставлено у відповідність скінченне число часткових функцій системи, які формуються на підставі задач системи в цілому та у загальному випадку не повинні перевищувати можливостей системи та її складових.

Припустимо, що i -та ($i = 1 \dots I$) компонента системи характеризується множиною FS_i (формуляр компоненти) поставлених їй у відповідність часткових задач fs_{ij} ($j = 1 \dots m$). При цьому елементи множини FS_i набувають бінарних значень: одиниці ($fs_{ij} = 1$), якщо часткова задача входить до переліку функцій, поставлених у відповідність даній компоненті; нуля ($fs_{ij} = 0$) у протилежному разі. Тоді кожну функціональну компоненту системи можна однозначно визначити множиною її часткових задач:

$$FS_i = \{fs_{i1}, fs_{i2}, \dots, fs_{im}\}, \quad i = 1 \dots I, \quad j = 1 \dots m. \quad (2.61)$$

Часткові задачі fs_{ij} у множині (2.61) нерівнозначні, а більший пріоритет (важливість для реалізації за вкладом у виявлення КЗ) надається задачі зі старшим номером у переліку (табл. 2.12).

З іншого боку, зазначені компоненти системи реалізуються на базі АРМ як універсальної функціональної одиниці. Припустимо, що для функціонування системи, яка розглядається, виділено n АРМ. Кожне j -те АРМ ($j = 1 \dots n$) характеризується парою множин (формуляром АРМ), що складається із FA_j – переліку часткових задач системи, які можна на ньому виконувати, та TX_j – технічних характеристик, які забезпечують можливості даного АРМ:

$$ARM_j = \{FA_j, TX_j\}, \quad j = 1 \dots n, \quad ARM_j \neq ARM_p, \quad p = 1 \dots n, \quad p \neq j. \quad (2.62)$$

У свою чергу множини часткових задач, що можуть виконуватися на j -му АРМ, та множини технічних характеристик можна зобразити у такому вигляді:

$$FA_j = \{fa_{j1}, fa_{j2}, \dots, fa_{jm}\}, \quad TX_j = \{x_{j1}, tx_{j2}, \dots, tx_{jl}\}. \quad (2.63)$$

Перелік часткових задач системи виявлення КЗ за пріоритетністю

№ з/п	Часткові задачі системи	Позначення
1.	Завантаження інформаційних повідомлень, розміщених на ресурсах ІТС.	f_{s_1}
2.	Формування пошукових запитів.	f_{s_2}
3.	Пошук у завантажених повідомленнях.	f_{s_3}
4.	Збереження масиву інформаційних повідомлень, що відповідають пошуковому запиту.	f_{s_4}
5.	Вилучення з масиву завантажених інформаційних повідомлень дублікатів.	f_{s_5}
6.	Визначення мови повідомлення.	f_{s_6}
7.	Приведення завантаженого повідомлення до єдиного формату системи.	f_{s_7}
8.	Аналіз інформаційних повідомлень із метою виявлення ознак КЗ.	f_{s_8}
9.	Формування запитів на додатковий пошук (дорозвідку).	f_{s_9}
10.	Оцінка інформаційних джерел на повноту, достовірність, інформативність тощо.	$f_{s_{10}}$
11.	Формування бази даних інформаційних джерел.	$f_{s_{11}}$
12.	Збереження у базі даних інформаційних повідомлень, що містять ознаки КЗ, та візуалізація вихідних інформаційно-аналітичних матеріалів.	$f_{s_{12}}$

На понятійному рівні за допомогою теорії множин здійснено формальний математичний опис функціональних компонент системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС (2.61), а також засобів (АРМ), на базі яких дані компоненти реалізуються (2.62), (2.63).

Відповідно до сформованого обрис (рис. 2.5) система складається з декількох компонент, якість функціонування яких описується своїми частинними критеріями, що у свою чергу також можуть включати критерії нижчого рівня. Сукупність таких частинних критеріїв компонент визначає ефективність функціонування системи в цілому [146]. Загалом частинні критерії якості функціонування складових системи можуть бути зведені до такого переліку критеріальних вимог системи:

1. Мінімальний час, необхідний для виявлення КЗ $t_s \rightarrow \min$.

2. Максимальна достовірність інформації, що враховується при прийнятті рішення про наявність КЗ $D_s \rightarrow \max$.

3. Максимальна інформаційна надлишковість для прийняття рішення про наявність КЗ $IN_s \rightarrow \max$.

Тобто сформовано перелік критеріальних вимог для реалізації структурного синтезу системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС

$$\begin{cases} t_s \rightarrow \min, & \text{якщо } t_s \leq t_{s \text{ por}}, \\ D_s \rightarrow \max, & \text{якщо } D_s \geq D_{s \text{ por}}, \\ IN_s \rightarrow \max, & \text{якщо } IN_{s \text{ min}} \leq IN_s \leq IN_{s \text{ max}}. \end{cases} \quad (2.64)$$

Критеріальні вимоги (2.64) є суперечливими, що пояснюється так. Забезпечення максимальної інформаційної надлишковості і найвищої достовірності інформації вимагає збільшення кількості інформаційних джерел. Це, у свою чергу, збільшує часові витрати на добування й обробку інформації, що доводить суперечливість критеріїв (2.64) та свідчить про багатокритерійність задачі структурного синтезу [35, 36].

Показники ефективності, наведені в (2.64), прямо або опосередковано взаємозв'язані з параметрами, що містяться у формулярах АРМ: із переліком часткових задач системи в цілому, вирішення яких може здійснюватися із залученням відповідного АРМ – FA_j ; із переліком технічних характеристик АРМ – TX_j . Відповідно, висунуті суперечливі частинні критерії ефективності системи (2.64) можуть бути уточнені:

$$\begin{cases} t_s(FA, TX) \rightarrow \min, & \text{якщо } t_s(FA, TX) \leq t_{s \text{ por}}(FA, TX), \\ D_s(FA, TX) \rightarrow \max, & \text{якщо } D_s(FA, TX) \geq D_{s \text{ por}}(FA, TX), \\ IN_s(FA, TX) \rightarrow \max, & \\ & \text{якщо } IN_{s \text{ min}}(FA, TX) \leq IN_s \leq IN_{s \text{ max}}(FA, TX). \end{cases} \quad (2.65)$$

Враховуючи введені поняття, формалізований вигляд задачі структурно-параметричного синтезу системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС може бути подано таким чином. Для синтезу системи необхідно розподілити обмежену кількість n наявних АРМ, які характеризуються формулярами $ARM_j = \{FA_j, TX_j\}$, за компонентами системи, які характеризуються формулярами $FS_j = \{fs_{j1}, fs_{j2}, \dots, fs_{ij}\}$, таким чином, щоб призначення синтезованої системи виконувалося з ефективністю, що задовольняє суперечливі вимоги системи критеріїв (2.64).

Розв'язання сформульованої задачі здійснюватиметься за допомогою методів багатокритерійного аналізу шляхом зведення початкового завдання до однокритерійної форми [27]. Формування узагальненого критерію оптимальності буде реалізовано з використанням нелінійної схеми

компромівів відповідно до згортки професора Вороніна А. М. [36]. Порівняно з іншими схемами оптимізації згортка характеризується низкою переваг: оптимізаційне завдання вирішується за наявності обмежень, у яких гарантується унімодальність функції узагальненого критерію оптимальності; відносно невелика обчислювальна складність алгоритму пошуку рішення.

Згортка для дискретно заданих частинних критеріїв має вигляд:

$$Y(y_0) = \sum_{m=1}^b \gamma_{0m} (1 - y_{0m})^{-1} \rightarrow \min, \quad (2.66)$$

де $m = 1..b$ – кількість включених у згортку частинних критеріїв оптимальності; γ_{0m} – нормований ваговий коефіцієнт; y_{0m} – нормований частинний критерій оптимальності.

Нормування вагових коефіцієнтів здійснюється відносно сум вагових коефіцієнтів, що визначені для всіх частинних критеріїв, включених у згортку:

$$\gamma_{0m} = \frac{\gamma_m}{\sum_{m=1}^b \gamma_m}, \quad (2.67)$$

де γ_m – поточне (ненормоване) значення вагового коефіцієнта.

Нормування частинних критеріїв оптимальності здійснюється з метою зведення їх до безрозмірної мінімізованої форми на обмеженому інтервалі їх розгляду $\varphi_m(\min \chi) \leq \varphi_m(\chi) \leq \varphi_m(\max \chi)$. Для дискретно описаних частинних критеріїв це здійснюється, наприклад, згідно з виразом:

$$\varphi_{0m} = \frac{\varphi_{mp}^{\min}}{\sum_{p=1}^{K_{\min}} \varphi_{mp}^{\min}}, \quad \varphi_{0m} = \left(\varphi_{mp}^{\max} \sum_{p=1}^{K_{\max}} \frac{1}{\varphi_{mp}^{\max}} \right)^{-1}, \quad (2.68)$$

де $p = K_{\min}, K_{\max}$ – кількість дискретних значень у вибірці, що характеризує значення мінімізованих φ_{mp}^{\min} та максимізованих φ_{mp}^{\max} критеріїв.

Далі здійснюється синтез якісної структури системи (обґрунтування параметрів її компонентів). Це реалізується шляхом вибору такого переліку АРМ для кожної підсистеми (за умови, що загальна кількість АРМ становить n), який забезпечить найкраще відображення функцій системи на сформовану структуру. Поняття найкращого відображення функцій системи на її структуру потребує уточнення у вигляді конкретних

критеріальних вимог. Для цього реалізується послідовність дій, наведена на узагальненому прикладі.

Припустимо, що задано формуляри всіх трьох компонент системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС:

$$FS_1 = \left\{ \begin{matrix} fs_{11} & fs_{12} & fs_{1m} \\ 1 & 1 & \dots & 0 \end{matrix} \right\}, FS_2 = \left\{ \begin{matrix} fs_{21} & fs_{22} & fs_{2m} \\ 1 & 0 & \dots & 0 \end{matrix} \right\},$$

$$FS_3 = \left\{ \begin{matrix} fs_{31} & fs_{32} & fs_{3m} \\ 0 & 1 & \dots & 1 \end{matrix} \right\} \quad (2.69)$$

де FS_1 , $KS_j^i = \lfloor S_i^j \times N_{kod} \rfloor$, FS_3 – формуляри підсистем пошуку, спостереження та виявлення КЗ відповідно; fs_{1m} , fs_{2m} , fs_{3m} – часткові задачі системи, які вирішуються ($fs_{ij} = 1$) або не вирішуються ($fs_{ij} = 0$) підсистемою пошуку, спостереження та ідентифікації КЗ відповідно, k – кількість часткових задач системи.

Окрім цього, визначено кількість АРМ n (нехай $n = 4$), які передбачається включити до складу відповідних підсистем системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС, та їх формуляри:

$$ARM_1 = \{FA_1, TX_1\},$$

$$FA_1 = \left\{ \begin{matrix} fa_{11} & fa_{12} & fa_{1m} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{matrix} \right\}, TX_1 = \left\{ \begin{matrix} tx_{11} & tx_{12} & tx_{1l} \\ 8 & 2 & \dots & 1 \end{matrix} \right\}$$

$$ARM_2 = \{FA_2, TX_2\},$$

$$FA_2 = \left\{ \begin{matrix} fa_{21} & fa_{22} & fa_{2m} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{matrix} \right\}, TX_2 = \left\{ \begin{matrix} tx_{21} & tx_{22} & tx_{2l} \\ 6 & 4 & \dots & 0 \end{matrix} \right\}$$

$$ARM_3 = \{FA_3, TX_3\},$$

$$FA_3 = \left\{ \begin{matrix} fa_{31} & fa_{32} & fa_{3m} \\ 0 & 1 & \dots & 1 \end{matrix} \right\}, TX_3 = \left\{ \begin{matrix} tx_{31} & tx_{32} & tx_{3l} \\ 0 & 6 & \dots & 1 \end{matrix} \right\}$$

$$ARM_4 = \{FA_4, TX_4\},$$

$$FA_4 = \left\{ \begin{matrix} fa_{41} & fa_{42} & fa_{4m} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{matrix} \right\}, TX_4 = \left\{ \begin{matrix} tx_{41} & tx_{42} & tx_{4l} \\ 2 & 8 & \dots & 1 \end{matrix} \right\} \quad (2.70)$$

де ARM_1 , ARM_2 , ARM_3 , ARM_4 – формуляри виділених для формування системи АРМ; FA_1 , FA_2 , FA_3 , FA_4 – множини часткових задач fa_{im} системи, які можуть ($fa_{im} = 1$) або не можуть ($fa_{im} = 0$) бути виконані на відповідному АРМ; TX_1 , TX_2 , TX_3 , TX_4 – технічні характеристики відповідних АРМ, до яких належать як параметри апаратних засобів АРМ, так

і встановлене програмне забезпечення; m – кількість часткових задач системи; l – число технічних характеристик відповідного АРМ. Як параметри технічних характеристик АРМ у прикладі (2.70) встановлено деякі інтегровані оцінки, які для апаратних засобів змінюються у межах $0 - 10$ з найкращим значенням, рівним 10, а для програмного забезпечення набувають бінарних значень 0 або 1.

Пріоритет у реалізації послідовності операцій щодо виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС та важливості технічних характеристик АРМ враховується шляхом розрахунку відповідних вагових коефіцієнтів пропорційно двійковому коду представлення десятичного числа. Двійковий код числа у прийнятих термінах множин, які використовуються для опису системи, задається у вигляді:

$$N_{kod} = \left\{ \frac{N_{kod1}}{2^0}, \frac{N_{kod2}}{2^1}, \frac{N_{kod3}}{2^2}, \dots \right\}. \quad (2.71)$$

Подальші розрахунки для кожної підсистеми здійснюються так.

1. Виконується послідовність взаємних відображень формулярів кожної підсистеми на формуляри АРМ шляхом перемноження відповідних елементів множин $FS_j = \{fs_{j1}, fs_{j2}, \dots, fs_{ij}\}$ і $FA_j = \{fa_{j1}, fa_{j2}, \dots, fa_{jm}\}$. Таким чином реалізується формування свого роду унікальної числової кодової комбінації S_j^i для кожного j -го АРМ з урахуванням специфіки i -ї підсистеми, до якої воно належить:

$$S_j^i = [FS_j \times FA_j], S_j^i = \{s_j^{i1}, s_j^{i2}, \dots, s_j^{im}\}, s_j^{im} = fs_{im} \times fa_{jm}. \quad (2.72)$$

2. Відповідно до отриманих даних S_j^i , враховуючи (2.71), здійснюється розрахунок вагових коефіцієнтів KS_j^i для кожного АРМ:

$$KS_j^i = [S_j^i \times N_{kod}], KS_j^i = \{ks_j^{i1}, ks_j^{i2}, \dots, ks_j^{im}\}, ks_j^{im} = s_j^{im} \times \frac{N_{kod}}{2^i} \quad (2.73)$$

Тобто відбувається відображення унікальної числової кодової комбінації S_j^i для кожного j -го АРМ на двійковий код N_{kod} .

3. Аналогічно розраховуються вагові коефіцієнти KTX_j для технічних характеристик TX_j кожного j -го АРМ:

$$KTX_j = [TX_j \times N_{kod}], KTX_j = \{ktx_j^1, ktx_j^2, \dots, ktx_j^l\}, ktx_j^l = t x_j^l \times \frac{N_{kod}}{2^l}, \quad (2.74)$$

де l – кількість технічних характеристик АРМ.

4. На підставі отриманих даних S_i^j для кожної підсистеми знаходяться суми $SumS_{ij} = \sum_{p=1}^m s_i^{jp}$ значущих позицій відповідних АРМ (суми рядків), які є своєрідною інтегральною кількісною мірою відповідності того чи іншого АРМ функціональному призначенню відповідної підсистеми ($SumS_{ij} = 1...m$).

5. Аналогічно за показниками технічних характеристик кожного АРМ розраховується інтегральна міра можливої якості виконання відповідним АРМ визначених функцій. Для цього знаходяться суми $SumTX_j = \sum_{r=1}^l tx_{jr}$ параметрів технічних характеристик, визначені у формулярі j -го АРМ.

6. Надалі знаходяться суми вагових коефіцієнтів KS_j^i і KTX_j за наступними виразами:

$$SumKS_{ij} = \sum_{p=1}^m ks_i^{jp}, \quad SumKTX_j = \sum_{r=1}^l ktx_{jr}. \quad (2.75)$$

Отримані величини $SumS_{ij}$, $SumTX_j$, $SumKS_{ij}$, $SumKTX_j$ є узагальненими значеннями контрольованих показників S_i^j , TX_j та їх вагових коефіцієнтів KS_j^i , KTX_j , що характеризують кожний АРМ з огляду на його застосування для розв'язання задач конкретної підсистеми. Такі дані для i -ї підсистеми наведено у табл. 2.13.

Таблиця 2.13

Узагальнені значення показників i -ї підсистеми та їх вагових коефіцієнтів

Параметр	Номер АРМ j			
	1	2	...	j
S_i^j	S_1^i	S_2^i	...	S_j^i
KS_j^i	KS_1^i	KS_2^i	...	KS_j^i
TX_j	TX_1	TX_2	...	TX_j
KTX_j	KTX_1	KTX_2	...	KTX_j

Дані табл. 2.13 є вихідними для формування часткових критеріальних вимог, які ставляться до структури та складу системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС. При цьому вважаємо найкращою (оптимальною) таку структуру системи, яка забезпечує виконання найбільшої кількості часткових функцій i -ї підсистеми j -м

АРМ із числа заданих формуляром підсистеми $S_i^j \rightarrow \max$; при цьому j -й АРМ має володіти найкращими технічними характеристиками $TX_j \rightarrow \max$.

Таким чином, отримуємо систему критеріальних вимог для структурно-параметричного синтезу:

$$\begin{cases} S_i^j \rightarrow \max, \\ TX_j \rightarrow \max. \end{cases} \quad (2.76)$$

Зіставлення системи частинних критеріїв (2.65) і (2.76) дозволяє виявити суперечливість останніх, що є ознакою багатокритеріальності. Тому розв'язання багатокритерійної задачі структурно-параметричного синтезу здійснюватиметься з використанням нелінійної схеми компромісів у формі дискретної згортки (2.66). Це визначається дискретним характером опису зміни частинних критеріїв (2.76), наведених у табл. 2.12. Як вагові коефіцієнти будуть використані параметри KS_{ij} , KTX_j , які визначають значущість АРМ за параметрами S_i^j і TX_j , перетворених із двійкового коду у десяткове число відповідно до (2.71) і (2.74). Виконавши нормування частинних критеріїв (2.76) за формулою (2.68), а вагових коефіцієнтів – за формулою (2.67) (нормування відбувається в межах зміни параметра j) з подальшим піднесенням до (-1) степеня, застосовуючи (2.66) до (2.76), отримаємо оптимізаційну математичну модель структурно-параметричного синтезу системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС:

$$\Psi_{ij} = KS_{ij0} (1 - S_{i0}^j)^{-1} + KTX_{j0} (1 - TX_{j0})^{-1} \rightarrow \min. \quad (2.77)$$

Результатом застосування моделі (2.77) до даних табл. 2.12 є зведені таблиці значень Ψ_{ij} , які характеризують зміни загального критерію оптимальності системи, що синтезується (табл. 2.14).

Таблиця 2.14

Значення узагальненого критерію Ψ_{ij} для i -ї підсистеми

Параметр	Номер АРМ j			
	1	2	...	j
Ψ_{ij}	Ψ_{i1}	Ψ_{i2}	...	Ψ_{ij}

Вибір конкретного АРМ із доступних для формування структури системи реалізується шляхом контролю виконання вимоги мінімізації значень Ψ_{ij} для кожного j -го АРМ. У результаті маємо перелік АРМ, які формують структуру системи. Параметри системи опосередковано

визначені технічними характеристиками відібраних АРМ. При цьому структура синтезованої системи та її параметри є парето-оптимальними за сукупністю суперечливих критеріїв (2.64), (2.65), (2.76).

Подальший розподіл АРМ за підсистемами здійснюється з урахуванням їх пріоритетності для функціонування системи в цілому.

Крім того, при розподілі АРМ за складовими системи слід враховувати обов'язковість віднесення до кожної i -ї підсистеми не менш ніж одного АРМ ($n_i \geq 1$). У противному разі не вдасться забезпечити виконання часткових функцій підсистеми, до якої не буде віднесено жодного АРМ, що у свою чергу призведе до неможливості виконання призначення системи в цілому.

Специфічною особливістю системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС, яка має враховуватися при розподілі АРМ за підсистемами, є також те, що вирішальним показником для віднесення АРМ до тієї чи іншої підсистеми є наявність доступу та апаратних засобів підключення до ІТС. Це означає, що відповідні технічні характеристики АРМ не повинні дорівнювати 0 ($tx_j^{dost} \neq 0$).

Зазначені вище особливості системи, що синтезується, можна представити такими обмеженнями:

$$\begin{cases} n_i \geq 1, i = 1 \dots 3; \\ tx_j^{dost} \neq 0, ARM_j \in PidSys_i, i = 1, 2. \end{cases} \quad (2.78)$$

Таким чином, з урахуванням викладеного, методика структурно-параметричного синтезу системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС включає такі етапи:

1. Формування сегмента вихідних даних – встановлення кількості відведених для формування системи АРМ, заповнення формулярів компонент та АРМ.

2. Синтез якісної структури системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС відповідно до виразів (2.71) – (2.77).

3. На підставі результатів п. 2 та з урахуванням обмежень (2.78) формування обрису системи – її структури та параметрів відповідно до сегмента вихідних даних, визначених у п. 1.

Розрахунковий приклад практичного використання розробленої методики структурно-параметричного синтезу системи виявлення КЗ.

На підставі переліку часткових задач системи (табл. 2.12) задано формуляри підсистем (2.79) та формуляри АРМ (2.80), а також кількість АРМ $n = 4$, які можуть бути використані для синтезу системи виявлення

КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС. Необхідно здійснити структурно-параметричний синтез системи.

$$\begin{aligned}
 FS_1 &= \\
 &= \left\{ fs_{11}, fs_{12}, fs_{13}, fs_{14}, fs_{15}, fs_{16}, fs_{17}, fs_{18}, fs_{19}, fs_{110}, fs_{111}, fs_{112} \right\}, \\
 FS_2 &= \\
 &= \left\{ fs_{21}, fs_{22}, fs_{23}, fs_{24}, fs_{25}, fs_{26}, fs_{27}, fs_{28}, fs_{29}, fs_{210}, fs_{211}, fs_{212} \right\}, \\
 FS_3 &= \\
 &= \left\{ fs_{31}, fs_{32}, fs_{33}, fs_{34}, fs_{35}, fs_{36}, fs_{37}, fs_{38}, fs_{39}, fs_{310}, fs_{311}, fs_{312} \right\}
 \end{aligned} \tag{2.79}$$

$$ARM_1 = \{FA_1, TX_1\},$$

$$\begin{aligned}
 FA_1 &= \\
 &= \left\{ fa_{11}, fa_{12}, fa_{13}, fa_{14}, fa_{15}, fa_{16}, fa_{17}, fa_{18}, fa_{19}, fa_{110}, fa_{111}, fa_{112} \right\}, \\
 TX_1 &= \left\{ tx_{11}, tx_{12}, tx_{13}, tx_{14}, tx_{15}, tx_{16}, tx_{17}, tx_{18}, tx_{19}, tx_{110} \right\} \\
 &= \left\{ 8, 2, 4, 7, 5, 2, 0, 1, 1, 1 \right\} \\
 ARM_2 &= \{FA_2, TX_2\},
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FA_2 &= \\
 &= \left\{ fa_{21}, fa_{22}, fa_{23}, fa_{24}, fa_{25}, fa_{26}, fa_{27}, fa_{28}, fa_{29}, fa_{210}, fa_{211}, fa_{212} \right\}, \\
 TX_2 &= \left\{ tx_{21}, tx_{22}, tx_{23}, tx_{24}, tx_{25}, tx_{26}, tx_{27}, tx_{28}, tx_{29}, tx_{210} \right\} \\
 &= \left\{ 6, 4, 2, 6, 2, 1, 0, 1, 1, 0 \right\} \\
 ARM_3 &= \{FA_3, TX_3\},
 \end{aligned} \tag{2.80}$$

$$\begin{aligned}
 FA_3 &= \\
 &= \left\{ fa_{31}, fa_{32}, fa_{33}, fa_{34}, fa_{35}, fa_{36}, fa_{37}, fa_{38}, fa_{39}, fa_{310}, fa_{311}, fa_{312} \right\}, \\
 TX_3 &= \left\{ tx_{31}, tx_{32}, tx_{33}, tx_{34}, tx_{35}, tx_{36}, tx_{37}, tx_{38}, tx_{39}, tx_{310} \right\} \\
 &= \left\{ 0, 6, 4, 7, 8, 2, 1, 1, 1, 1 \right\} \\
 ARM_4 &= \{FA_4, TX_4\},
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FA_4 &= \\
 &= \left\{ fa_{41}, fa_{42}, fa_{43}, fa_{44}, fa_{45}, fa_{46}, fa_{47}, fa_{48}, fa_{49}, fa_{410}, fa_{411}, fa_{412} \right\}, \\
 &= \left\{ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 \right\}
 \end{aligned}$$

$$TX_4 = \left\{ \begin{matrix} lx_{41} & lx_{42} & lx_{43} & lx_{44} & lx_{45} & lx_{46} & lx_{47} & lx_{48} & lx_{49} & lx_{410} \\ 2 & 8 & 6 & 8 & 7 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix} \right\}$$

Із формулярів підсистем (2.79) видно, що підсистемі пошуку можна поставити у відповідність часткові функції 1, 2, 5 – 7, підсистемі спостереження – 1, 3 – 7, підсистемі ідентифікації КЗ – 2, 8 – 12.

Далі здійснюються розрахунки за виразами (2.71) – (2.77), кінцевим результатом яких є зведена табл. 2.15 узагальнених показників та рейтингу відповідності наявних АРМ функціональним підсистемам.

Таблиця 2.15

Узагальнені показники та рейтинг відповідності АРМ функціональним підсистемам

Компонента системи	Автоматизовані робочі місця, що підлягають розподілу							
	АРМ1		АРМ2		АРМ3		АРМ4	
	показник $\Psi_{\#}$	рейтинг	показник $\Psi_{\#}$	рейтинг	показник $\Psi_{\#}$	рейтинг	показник $\Psi_{\#}$	рейтинг
Підсистема пошуку	8,11	1	11,79	3	19,62	4	8,87	2
Підсистема спостереження	8,13	1	11,21	3	21,41	4	8,87	2
Підсистема ідентифікації КЗ	9,24	1	11,52	3	13,59	4	10,00	2

На підставі отриманих рейтингів та з урахуванням накладених на систему обмежень (2.78) здійснюється розподіл АРМ за їх підсистемами. Для цього виконується циклічний процес за таким алгоритмом:

1. Вибір АРМ із найвищим рейтингом для найбільш пріоритетної підсистеми.
2. Перевірка відповідності обраного АРМ накладеним обмеженням:
 - 2.1. АРМ задовольняє обмеження – перехід до п. 3 алгоритму.
 - 2.2. У протилежному разі – вибір наступного за рейтингом АРМ та виконання п.п. 1, 2.
3. Перехід до наступної за пріоритетністю підсистеми.

Алгоритм виконується, поки не будуть розподілені всі виділені для синтезу системи АРМ.

У результаті виконання наведеного алгоритму отримано такий вигляд системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС:

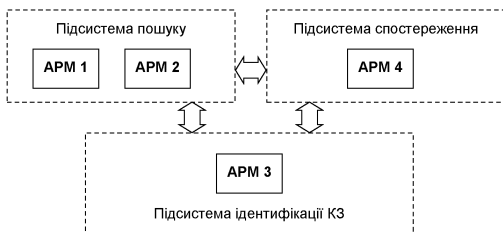


Рис. 2.6

Таким чином, значні обсяги інформації, що міститься на відкритих ресурсах ІТС, зумовлюють задачу своєчасного виявлення КЗ за результатами моніторингу таких ресурсів в умовах обмеженості виділених (наявних) сил і засобів моніторингу. Для підвищення оперативності вирішення зазначеної задачі запропоновано методіку структурно-параметричного синтезу системи виявлення КЗ за результатами моніторингу відкритих ресурсів ІТС, засновану на використанні методів багатокритерійного аналізу та нелінійної схеми компромісів у формі дискретної згортки. Зазначена методика дозволяє отримати оптимальну за структурою та параметрами систему виявлення кібернетичних загроз.

В основу запропонованої методіки покладено систему суперечливих критеріїв ефективності системи виявлення КЗ та математичну модель структурно-параметричного синтезу системи, яка дозволяє розрахувати узагальнений показник відповідності того чи іншого АРМ кожній із компонент системи. Формування структури системи реалізується шляхом призначення до кожної з її компонент такого із наявних АРМ, яке має найкращий узагальнений показник. Параметри системи опосередковано визначені технічними характеристиками відібраних АРМ. При цьому структура синтезованої системи та її параметри є парето-оптимальними за сукупністю суперечливих критеріїв ефективності.

Результати наведеного розрахункового прикладу доводять адекватність застосованої для розв'язання задачі синтезу багатокритерійної оптимізаційної моделі. Разом з тим отримані у ході дослідження результати свідчать про необхідність подальшого розгляду такої наукової задачі як оптимальний перерозподіл АРМ за компонентами системи у разі динамічної зміни функціонального навантаження підсистем.

Розділ 3. САМООРГАНІЗОВАНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОЮ І ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЗАДАНИХ ОБ'ЄКТІВ

3.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ФОРМУВАННЯ САМООРГАНІЗОВАНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОЮ І ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЗАДАНИХ ОБ'ЄКТІВ

Стрімкий розвиток інформаційних і телекомунікаційних технологій призвів до формування єдиного інформаційного простору, в якому взаємодіють, функціонують, модифікуються й розвиваються соціотехнічні системи різного ступеня складності й призначення. Системоутворюючим елементом таких систем і явищ є системи моніторингу (СМ) заданих об'єктів (об'єктів моніторингу (ОМ)), де реалізуються збір, накопичення, обробка одержаних даних і керівництво зазначеними процесами. Наслідком цього стала надмірність інформації, що циркулює в єдиному інформаційному просторі, значна динаміка перебігу зовнішніх і внутрішніх процесів, складність, фатальність і висока щільність потоку виникаючих при цьому кризових ситуацій (КС). Така ситуація спостерігається в задачах навігації космічних апаратів, аеродинамічних і надводних об'єктів, контролю радіаційної, радіоелектронної, екологічної обстановки, забезпечення пожежної безпеки й запобігання техногенним катастрофам тощо [24]. Практика доводить наявність істотних недоліків технологічного й функціонального характеру в існуючих СМ, що актуалізує завдання вироблення ефективних методів їх синтезу й керування процесами, що відбуваються у них, для умов значної надлишковості інформації, динаміки зміни й щільності потоку КС [24, 92].

Традиційно СМ базуються на формуванні статичної структури для конкретної предметної області її застосування, здатних функціонувати для конкретної обмеженої множини конфліктних ситуацій. При цьому дотримуються вимоги відкритості архітектури, модульності й уніфікації [92]. Завдяки цьому інформаційна надлишковість, зростання динаміки зміни й щільності потоку КС компенсується включенням нових елементів до системи. Такий шлях є малоєфективним, оскільки веде до ускладнення системи, підвищує її вартість й інертність, знижуючи рівень стійкості до відмов тощо. Синтез статичної структури може здійснюватися з використанням

багатокритерійних або однокритерійних підходів послідовно або паралельно з розв'язанням задачі параметричного синтезу [24, 47, 48, 92]. Останнім часом розвиток технологій передачі й обробки інформації, застосовуваних при цьому програмно-апаратних рішень дозволяє використовувати прогресивні технології ситуаційного управління в СМ із формуванням методологічних основ їх реалізації.

З урахуванням викладеного, метою розділу є розробка самоорганізованої математичної моделі ситуаційного управління структурою і параметрами систем моніторингу.

3.2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОЮ Й ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЗАДАНИХ ОБ'ЄКТІВ

Суть пропонованого до використання самоорганізованого ситуаційного управління структурою і параметрами СМ в умовах значної надмірності інформації, динаміки зміни й щільності потоку КС полягає ось у чому. Нехай має місце надлишкова структура СМ, статично сформована з елементів і підсистем різного рівня, або ж динамічно сформована з доступних структурних складових завдяки відкритості її архітектури. В разі виникнення конкретної КС за сукупністю груп часткових критеріїв відбираються елементи статичної структури СМ, поєднувані в інформаційно-керуючі кластери (ІКК) з індивідуальними властивостями. Тоді, через часову протяжність процесів моніторингу кожної конкретної КС і щільності потоку їх виникнення формуються й одночасно функціонують безліч ІКК у межах надлишкової структури й (або) доступних для використання елементів СМ. Тим самим досягається просторово-часове, структурно-параметричне рознесення задач, що опрацьовуються, за потоком КС на рівні ІКК у межах єдиної надлишкової структури СМ. У результаті система одержує додаткові властивості багатозадачності, багатофакторності й багаторівневості, а також здатність ефективно функціонувати в умовах значної надмірності інформації, динаміки зміни й щільності потоку КС. По суті реалізується процес керування структурою й параметрами СМ, а алгоритмізація цього процесу надає системі властивість структурної й параметричної самоорганізації в разі зміни зовнішньої й внутрішньої обстановки (ситуації) [45, 47, 48, 110].

Реалізація процесу ситуаційного управління структурою й параметрами СМ вимагає комплексного вирішення етапів: визначення узагальненої структури СМ із лінгвістичним описом її структурних елементів; конкретизація понять “кризова ситуація”, “об’єкт моніторингу”, а також режимів роботи СМ; формування груп часткових показників й критеріїв оптимізації структури і параметрів СМ для ситуаційного управління її

складовими; синтез самоорганізованої математичної моделі ситуаційного управління структурою і параметрами систем моніторингу.

Узагальнена структура СМ представлена на рис. 3.1.

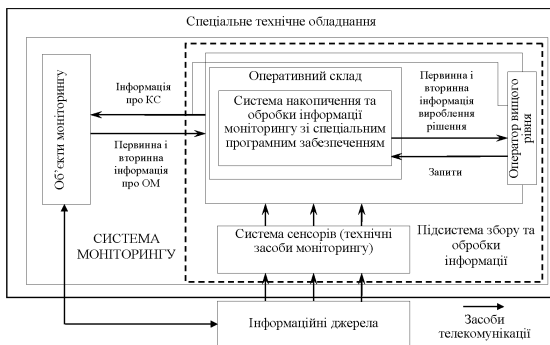


Рис. 3.1

Інформаційні джерела становлять собою різноманітні засоби випромінювання, які знаходяться на ОМ (пілотованих і безпілотових повітряних, космічних апаратах, пунктах управління, радіотехнічних системах і комплексах різного призначення тощо), радіо- і радіолокаційні станції, системи радіозв'язку та інше обладнання, яке має випромінювання в акустичному, радіо-, відео- й інфрачервоному діапазонах хвиль.

Система сенсорів (технічних засобів моніторингу (ТЗМ)) становить собою сукупність, як правило, різнорідних автономних технічних засобів (вимірювальних (інформаційних) систем, окремих датчиків тощо), а також інших засобів, за допомогою яких формується інформаційний масив про стан ОМ, поточної (конфліктної) ситуації тощо. Прикладом ТЗМ можуть бути системи радіолокаційного спостереження повітряного (космічного) простору, космічні інформаційні системи (дистанційного зондування Землі, метеорологічні, навігаційні), засоби тепловізійного спостереження, контролю радіочастотного ресурсу, датчики руху тощо.

Система накопичення й обробки інформації моніторингу (СНОІМ) зі спеціальним програмним забезпеченням. Технічна складова становить собою сукупність автоматизованих робочих місць (АРМ), обладнаних обчислювальними засобами, системами передачі даних і засобами приймання й відображення інформації колективного й індивідуального користування, об'єднаних у ситуаційні центри централізованого або розподіленого типів (Data-Центри). Програмно-алгоритмічна складова будується

за принципами інформаційних систем, спеціалізованих баз даних, розрахункових додатків, інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень із всебічним застосуванням геоінформаційних технологій.

Оперативний склад АРМ системи накопичення й обробки інформації моніторингу, що відповідає вимогам професійної підготовки й високопродуктивної роботи зі свого поточного стану, є ергатичною складовою СМ із внесенням творчого елемента в нестандартних КС зовнішнього й внутрішнього характеру.

Зазначені елементи формують *підсистему збору й обробки інформації СМ.*

Об'єктами моніторингу є об'єкти різної інфраструктури (наземні, надводні, підводні, повітряні, космічні), елементи системи управління військового призначення, екологічно небезпечні й із критичною структурою об'єкти (сховища, виробництва), місця скупчення людей, критичні до виникнення КС території (прикордонні, аеродроми, енерго-, водо-, тепло-, газомагістралі, гідроспоруди), критичні об'єкти державної системи управління та ін.

Спеціальне технічне обладнання (СТО) включає системи: навігації; електроживлення; життєзабезпечення; технічного захисту інформації та ін.

Система телекомунікації (СТК), що відповідає вимогам захищеності й стійкості, становить собою сукупність засобів і каналів зв'язку всіх можливих типів для передачі аудіо-, відео-, сигнальної, цифрової, сервісної й іншої інформації на внутрішньому й зовнішньому контурах за різними рівнями ієрархії.

Реалізація безпосередньо процесу управління СМ, а також формування критеріїв ситуаційного управління вимагає формалізації елементів зазначених процесів у вигляді структурної схеми, зображеної на рис. 3.2.

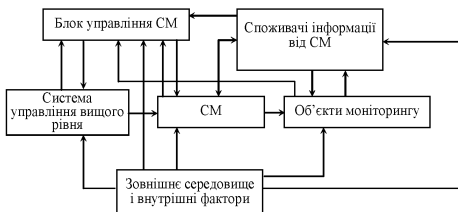


Рис. 3.2

Ініціатором ситуаційного процесу управління й самоорганізації СМ є КС. Далі в автоматизованому режимі реалізуються процеси ідентифікації

КС і формування ІКК для відпрацьовування виниклої кризової ситуації з урахуванням поточних команд управління вищого рівня й змін внутрішніх факторів і зовнішньої обстановки.

Під *кризовою ситуацією*, у контексті реалізації процесу моніторингу, розуміється деяка динамічно мінлива подія або їх кортеж, джерелами якої (яких) можуть бути зміни зовнішньої обстановки й внутрішніх факторів, стану, властивостей, динаміки об'єкта моніторингу, ініціативи споживачів інформації, системи керування вищого рівня, а також керуючої ланки поточних функцій, які вимагають від СМ зміни задач, властивостей, що й приводять до необхідності оперативних дій споживачів інформації, спрямованих на недопущення або усунення можливих фатальних наслідків у ході розвитку ситуації.

Залежно від призначення СМ кризові ситуації можуть бути: терористичного; оборонного (ведення бойових, інформаційних, інформаційно-психологічних, кібернетичних, радіоелектронних дій і таке інше); криміногенного; екологічного й техногенного; суспільно-політичного й соціально-економічного спрямування. При цьому КС слід розглядати як штатного (відомого, прогнозованого), так і позаштатного типів.

У зв'язку з цим СМ повинна функціонувати у декількох *режимах*.

Штатний режим полягає в розв'язку комплексу задач прогностичного планування, основною метою яких є збір інформації для прогнозування можливого виникнення й розвитку КС, контролю її наслідків, визначення ресурсів СМ для її виявлення, супроводу, а також локалізації й ліквідації.

Режим підвищеної готовності базується на застосуванні методів прогнозування виникнення КС і дозволяє оперативно реагувати на зміни поточної (зовнішньої й внутрішньої) ситуації з ефективністю реагування завдяки ранньому їхньому виявленню.

Кризовий режим полягає в наближеному до реального часу розв'язанні задач моніторингу, обробки інформації й вироблення результатуючих оцінок про стан ОМ у режимі пікового навантаження функціонування всіх елементів СМ.

Посткризовий режим – перехідний до звичайного й включає аналіз КС особливостей для її виявлення й локалізації, модифікацію вмісту баз даних і баз знань спеціалізованого програмного забезпечення системи накопичення й обробки інформації, поновлення нормальних режимів функціонування складових СМ.

Як *об'єкти моніторингу* слід розглядати екологічно небезпечні та із критичною структурою об'єкти (сховища, виробництва), місця скупчення людей, критичні до виникнення КС території (прикордонні райони, аеродроми й аеропорти, енерго-, водо-, тепло-, газомагістралі), критичні

об'єкти державної системи управління тощо. Наприклад, об'єкти атомної енергетики, гірничодобувної галузі, електростанції, дамби й прилеглі до них території потребують постійного моніторингу в мирний час в інтересах підрозділів ліквідації надзвичайних ситуацій, а в умовах особливого періоду й проведення антитерористичних операцій – структур сектора безпеки й оборони України. Стадіони, театри, концертні зали й майданчики, парки, торгово-розважальні комплекси та інші об'єкти, де проводяться різні заходи зі значним скупченням людей, потребують постійного моніторингу в інтересах силових структур і відомств для попередження й протидії тероризму, масових безпорядків та інших надзвичайних ситуацій.

3.3. ФОРМУВАННЯ ГРУП (КАТЕГОРІЙ) ЧАСТКОВИХ ПОКАЗНИКІВ І КРИТЕРІЇВ ОПТИМАЛЬНОСТІ СТРУКТУРИ Й ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

Формування груп (категорій) часткових показників і критеріїв оптимальності структури й параметрів СМ у цілому й ІКК зокрема реалізується шляхом розв'язання декомпозиційної задачі встановлення показників, для кожної структурної одиниці СМ із урахуванням вимог ефективності розв'язання цільових задач системою. Реалізація цього процесу дозволяє виділити групи часткових показників.

1. Множина показників технічних характеристик підсистем СМ:

$$TX = \{TX_{TS}, TX_{SNO}, TX_{STO}, TX_{STK}\}, \quad (3.1)$$

де TX_{TS} , TX_{SNO} , TX_{STO} , TX_{STK} – технічні характеристики ТЗМ, СНОІМ, СТО, СТК відповідно. Кожна підсистема СМ характеризується підмножинами показників за кількістю й типом елементів СМ із i -ми індексами у відповідному позначенні:

$$\begin{aligned} TX_{TS} &= \{TS_{i_{TS}}\}, i_{TS} = 1 \dots I_{TS}, TX_{SNO} = \{SNO_{i_{SNO}}\}, i_{SNO} = 1 \dots I_{SNO}, \\ TX_{STO} &= \{STO_{i_{STO}}\}, i_{STO} = 1 \dots I_{STO}, TX_{STK} = \{STK_{i_{STK}}\}, i_{STK} = 1 \dots I_{STK}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

2. Показники функціональної спрямованості підсистем СМ, що характеризують їхнє призначення залежно від типу, конкретної технічної реалізації, ОМ і розташованих на них інформаційних джерел, що визначає призначення АРМ СНОІМ тощо:

$$FN = \{FN_{TS}, FN_{SNO}, FN_{STO}, FN_{STK}\}, \quad (3.3)$$

де FN_{TS} , FN_{SNO} , FN_{STO} , FN_{STK} – підмножини числових значень (кодових комбінацій), що характеризують суть функціональної спрямованості підсистем СМ – ТЗМ, СНОІМ, СТО, СТК відповідно у вигляді:

$$\begin{aligned}
 FN_{TS} &= \{TS_{i_{TS}^{FN}}\}, i_{TS}^{FN} = 1 \dots I_{TS}^{FN}, FN_{SNO} = \{SNO_{i_{SNO}^{FN}}\}, i_{SNO}^{FN} = 1 \dots I_{SNO}^{FN}, \\
 FN_{STO} &= \{STO_{i_{STO}^{FN}}\}, i_{STO}^{FN} = 1 \dots I_{STO}^{FN}, FN_{STK} = \{STK_{i_{STK}^{FN}}\}, i_{STK}^{FN} = 1 \dots I_{STK}^{FN}.
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

Показники ефективності першої й другої груп стосуються надлишкової структури СМ і є незмінними в перебігу часу існування поточної КС.

3. *Показники функціональної стійкості СМ.* Дана категорія є узагальнюючою для властивостей: стійкості; надійності (безвідмовності); стійкості до відмов; живучості; завадостійкості [17]. Під функціональною стійкістю для розподіленої СМ із самоорганізацією процесу ситуаційного керування її структурою й параметрами розуміється здатність системи виконувати мінімальний обсяг функцій для локалізації й ліквідації конкретної КС протягом її існування при зовнішніх і внутрішніх впливах на СМ, не передбачених нормальною експлуатацією, здійснювати вибір оптимального режиму функціонування за рахунок її внутрішніх ресурсів, перебудови структури, зміни функцій окремих підсистем, фактично за рахунок функціональної інваріантності системи до зовнішніх (внутрішніх) навмисних (ненавмисних), апріорно невідомих впливів (збоїв).

Відповідно до викладеного, у термінах показників функціональної спрямованості підсистем СМ слід розглядати структурні й імовірнісні показники функціональної стійкості.

Структурні показники функціональної стійкості системи будуть мати вигляд обмежень:

$$\begin{aligned}
 FN_{TS} &= \{TS_{i_{TS}^{FN}} \cong TS_{i_{TS}^{FN} + N} \cong \dots\} \geq 2, \\
 FN_{SNO} &= \{SNO_{i_{SNO}^{FN}} \cong SNO_{i_{SNO}^{FN} + N} \cong \dots\} \geq 2, \\
 FN_{STO} &= \{STO_{i_{STO}^{FN}} \cong STO_{i_{STO}^{FN} + N} \cong \dots\} \geq 2, \\
 FN_{STK} &= \{STK_{i_{STK}^{FN}} \cong STK_{i_{STK}^{FN} + N} \cong \dots\} \geq 2.
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Тобто кількість елементів множин, що характеризують підсистеми СМ із перетинанням (дублюванням) функцій, що виконуються, наприклад, більше, ніж на 50% для забезпечення функціональної стійкості, формованих під виниклу конфліктну ситуацію ІКК СМ, повинне бути більшим або дорівнювати двом елементам.

Імовірнісні показники функціональної стійкості відображають наявність горизонтально-вертикальних функціональних та інформаційних зв'язків між відібраними для формування ІКК елементами СМ. Конкретика топології й архітектура системи забезпечення зазначених зв'язків (СТК) визначають перелік змінюваних значень попарних імовірностей

міжелементних і внутрішньоелементних зв'язностей. При цьому здійснюється контроль заданого граничного рівня:

$$\begin{aligned}
 P_{TS, SNO}(t) > P_{TS, SNO}^Z, P_{TS, STO}(t) > P_{TS, STO}^Z, P_{TS, STK}(t) > P_{TS, STK}^Z, \\
 P_{SNO, STO}(t) > P_{SNO, STO}^Z, P_{SNO, STK}(t) > P_{SNO, STK}^Z, \\
 P_{STO, STK}(t) > P_{STO, STK}^Z.
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

Залежність від часового фактора показників функціональної стійкості обумовлена послідовно-паралельним функціонуванням на надлишковій структурі СМ безлічі ІКК, впливом зовнішніх і внутрішніх факторів.

4. Показники ефективності виконання цільових завдань ергатичної складової СМ – оперативного складу СНОІМ, операторів ТЗМ, обслуговуючого персоналу СТО. Дані показники ефективності будемо розглядати як узагальнену числову комбінацію, що характеризує ефективність роботи людини-оператора, обумовлену його функціональною придатністю (підготовленістю), фізіологічними особливостями, поточним психофізичним станом тощо. Дана категорія показників ефективності представлена надійністю оперативного складу P_{OS} – добутком імовірності безвідмовної роботи кожного оператора АРМ й іншого персоналу [43, 132] для конкретного часового інтервалу, співвіднесеного до часу існування поточної КС:

$$P_{OS}(t) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{OP_i}(t)), P_{OP_i}(t) = K_{OP_i}(t) P_{\Phi_i}(t) P_{\Psi_i}(t),
 \tag{3.7}$$

де $P_{OP_i}(t)$ – імовірність безвідмовної роботи i -го оператора (за кількістю АРМ $i = 1 \dots N$) протягом часу t , $K_{OP_i}(t)$ – коефіцієнт готовності i -го оператора, що дорівнює ймовірності приймання інформації в довільний момент часу t , $P_{\Phi_i}(t)$ – біологічна надійність, обумовлена в тому числі функціональною придатністю, дорівнює ймовірності відсутності Φ відмов у i -го оператора протягом часу t , $P_{\Psi_i}(t)$ – психофізіологічна надійність (безпомилковість) роботи i -го оператора за час t .

5. Показники інженерно-психологічної оцінки ефективності СМ [132] – поєднують і відбивають сукупність вимог щодо забезпечення ефективної роботи ергатичного компонента (оператора) у системі “людина-машина”, в тому числі умов середовища, ергономічних показників робочого місця, рівня автоматизації роботи оператора, ергономічних показників програмного забезпечення АРМ тощо.

Показники, що характеризують умови середовища роботи оператора, – множина SR , що включає: оцінку негативної дії природних факторів

(некомпенсовані ергономікою АРМ) SR_{PF} ; рівень напруженості зовнішньої психофізичної ситуації (повсякденна діяльність, підвищена небезпека, ризик для життя) SR_{VS} ; рівень напруженості КС, що опрацьовується (залежно від її типу й режиму функціонування СМ) SR_{KC} :

$$SR = \{SR_{PF}, SR_{VS}, SR_{KC}^*\}. \quad (3.8)$$

Показники автоматизації роботи оператора (розподіл функцій між оператором і машиною) характеризуються відношенням кількості функцій, виконуваних оператором у штатному N_{SH} , підвищеної готовності N_{PG} , кризовому N_{KR} й посткризовому N_{PK} режимах функціонування СМ, співвіднесених із загальною кількістю функцій, необхідних для виконання системою взагалі в зазначених режимах – $SN_{SH}, SN_{PG}, SN_{KR}, SN_{PK}$, що визначається узагальненим показником:

$$AR = \left(\frac{N_{SH}}{SN_{SH}} + \frac{N_{PG}}{SN_{PG}} + \frac{N_{KR}}{SN_{KR}} + \frac{N_{PK}}{SN_{PK}} \right). \quad (3.9)$$

6. *Економічні показники* – відображають фінансові витрати, розділені на капіталовкладення й поточні витрати. Їх різномірність обумовлює необхідність використання узагальненого показника наведених витрат:

$$S_{PR} = C + E_N K, \quad (3.10)$$

де C – поточні витрати за деякий проміжок часу; E_N – нормативний коефіцієнт економічної ефективності, його величина для рентабельної економіки становить $E_N \geq 0,12$ [132]; K – величина капіталовкладень в обраній валютній одиниці.

Капіталовкладення відображають фінансові витрати на реалізацію повного циклу науково-технічного проектування й супроводу, розробку, випробування, виготовлення, впровадження й серійне виробництво технічних складових СМ, а також системи в цілому – K_{RS} ; проведення аналогічних робіт стосовно програмного забезпечення СМ – K_{RP} ; витрати на підготовку обслуговуючого й експлуатуючого персоналу для СМ – K_{PodP} .

Поточні витрати спрямовані на поточне обслуговування й підтримку в необхідному стані технічних і програмних компонентів СМ відповідно – C_{TOS}, C_{TOP} (у тому числі на модернізацію й ремонт), а також витрати на перепідготовку й підвищення кваліфікації експлуатуючого персоналу СМ – C_{PodP} .

З урахуванням декомпозиційних пояснень маємо:

$$K = K_{RS} + K_{RP} + K_{PodP}, \quad C = C_{TOS} + T_{TOP} + C_{PodP}. \quad (3.11)$$

7. *Пропускна здатність СМ* характеризує здатність системи паралельно обробляти потік КС. Це досягається й забезпечується надмірністю структури системи. У першому наближенні будемо вважати, що одночасно один комплекс складових СМ у конкретний момент часу забезпечує обробку однієї КС, а нарощування структури СМ забезпечує лінійне зростання пропускної здатності системи моніторингу. З урахуванням сказаного, маємо залежність пропускної здатності СМ $PSp(N)$ від кількості i -х елементів у СМ N у вигляді:

$$PSp(N) = PSp \cdot N. \quad (3.12)$$

Таким чином, маємо перелік груп часткових показників оптимальності, застосованих для структурно-параметричного синтезу надлишкової структури СМ і ІКК із конкретної КС (3.1) – (3.12). Однак їхній перелік не є універсальним для використання у формуванні СМ і ситуативного синтезу ІКК, що вимагає поділу на залежні (визначальні), наприклад від типу КС, часових характеристик її виникнення й розвитку, а також незалежні від таких факторів показники. Реалізувати це можливо шляхом використання функціонального опису встановлених груп часткових критеріїв від типу конкретної КС, часу її виникнення й розвитку з послідовним переходом стану СМ у позначені раніше режими її функціонування. Такий підхід на рівні переліку часткових показників дозволить розділити два окремі етапи структурно-параметричного синтезу СМ: синтез надлишкової структури СМ із використанням усього переліку груп часткових критеріїв (3.1) – (3.12); ситуативний послідовно-паралельний синтез множини ІКК для конкретних КС із урахуванням процесу їх виникнення й розвитку. Поділ груп часткових показників на класи, відповідно до зазначених двох етапів синтезу СМ і одержання груп часткових критеріїв оптимальності синтезованих структур, проведемо у формі таблиці генерального переліку показників і критеріїв структурно-параметричного синтезу СМ (див. табл. 3.1), що модифікується до розділеного переліку часткових критеріїв оптимальності: синтезу надлишкової структури СМ; ситуативного структурно-параметричного синтезу ІКК для виниклої КС. Для випадку синтезу ІКК ситуативність визначається типом КС, а самоорганізація визначається на двох стратах: на рівні окремого i -го ІКК із виникненням, модифікацією й розвитком j -ї КС, для локалізації й ліквідації якої він формується; на рівні СМ із послідовно-паралельним виникненням і розвитком множини. Таким чином, еволюція СМ і її самоорганізація проявляється в зміні структурно-параметричних властивостей множини ІКК,

породжуваної зміною значень внутрішніх показників системи моніторингу й процесом виникнення й розвитку потоку КС.

Таблиця 3.1

Генеральний перелік показників і критеріїв структурно-параметричного синтезу СМ

Група показників	Ієрархія узагальнених і часткових показників		Критерій
1. Показники і критерії технічних характеристик підсистем СМ			
TX	TX_{TS}	$TS_{i_{TS}}$	$TS_{i_{TS}} \rightarrow \max$
	TX_{SNO}	$SNO_{i_{SNO}}$	$SNO_{i_{SNO}} \rightarrow \max$
	TX_{STO}	$STO_{i_{STO}}$	$STO_{i_{STO}} \rightarrow \max$
	TX_{STK}	$STK_{i_{STK}}$	$STK_{i_{STK}} \rightarrow \max$
2. Показники функціональної направленості підсистем СМ			
FN	FN_{TS}	$TS_{i_{TS}}^{FN}$	$TS_{i_{TS}}^{FN} \rightarrow \max$
	FN_{SNO}	$SNO_{i_{SNO}}^{FN}$	$SNO_{i_{SNO}}^{FN} \rightarrow \max$
	FN_{STO}	$STO_{i_{STO}}^{FN}$	$STO_{i_{STO}}^{FN} \rightarrow \max$
	FN_{STK}	$STK_{i_{STK}}^{FN}$	$STK_{i_{STK}}^{FN} \rightarrow \max$
3. Показники функціональної стійкості СМ			
3.1. Структурні показники функціональної стійкості системи			
$FnN(t)$	$FN_N(t)$	$FN_{TS}(t)$	$FN_{TS}(t) \rightarrow \max$
		$FN_{SNO}(t)$	$FN_{SNO}(t) \rightarrow \max$
		$FN_{STO}(t)$	$FN_{STO}(t) \rightarrow \max$
		$FN_{STK}^{FN}(t)$	$FN_{STK}^{FN}(t) \rightarrow \max$
3.2. Ймовірнісні показники функціональної стійкості			
$FnN(t)$	$P_N(t)$	$P_{TS, SNO}(t)$	$P_{TS, SNO}(t) \rightarrow \max$
		$P_{TS, STO}(t)$	$P_{TS, STO}(t) \rightarrow \max$
		$P_{TS, STK}(t)$	$P_{TS, STK}(t) \rightarrow \max$
		$P_{SNO, STO}(t)$	$P_{SNO, STO}(t) \rightarrow \max$
		$P_{SNO, STK}(t)$	$P_{SNO, STK}(t) \rightarrow \max$
		$P_{STO, STK}(t)$	$P_{STO, STK}(t) \rightarrow \max$
4. Показники ефективності виконання цільових задач операторами СМ			
$P_{OS}(t)$	$P_{OP_i}(t)$	$K_{OP_i}(t)$	$K_{OP_i}(t) \rightarrow \max$
		$P_{\Phi_i}(t)$	$P_{\Phi_i}(t) \rightarrow \max$
		$P_{\Psi_i}(t)$	$P_{\Psi_i}(t) \rightarrow \max$

Група показників	Ієрархія узагальнених і часткових показників	Критерій	
5. Показники інженерно-психологічної оцінки ефективності СМ			
IPO	5.1. Показники, що характеризують умови середовища роботи оператора		
	SR	SR_{PF}	$SR_{PF} \rightarrow \min$
		SR_{QS}	$SR_{QS} \rightarrow \min$
		SR_{KC}	$SR_{KC} \rightarrow \min$
	5.2. Показники автоматизації роботи оператора		
	AR	$N_{SH}SN_{SH}^{-1}$	$N_{SH}SN_{SH}^{-1} \rightarrow \min$
		$N_{PG}SN_{PG}^{-1}$	$N_{PG}SN_{PG}^{-1} \rightarrow \min$
		$N_{KR}SN_{KR}^{-1}$	$N_{KR}SN_{KR}^{-1} \rightarrow \min$
		$N_{PK}SN_{PK}^{-1}$	$N_{PK}SN_{PK}^{-1} \rightarrow \min$
	6. Економічні показники		
S	6.1. Капіталовкладення		
	K	K_{RS}	$K_{RS} \rightarrow \min$
		K_{RP}	$K_{RP} \rightarrow \min$
		K_{PodP}	$K_{PodP} \rightarrow \min$
	6.2. Поточні витрати		
	C	C_{TOS}	$C_{TOS} \rightarrow \min$
		C_{TOP}	$C_{TOP} \rightarrow \min$
		C_{PodP}	$C_{PodP} \rightarrow \min$
7. Пропускна здатність СМ			
$PSp(N)$	$PSp(N)$	$PSp(N) \rightarrow \min$	

По суті, сформовані показники й критерії ефективності параметричного синтезу СМ є формалізацією синтезу математичної моделі, що самоорганізується, ситуаційного управління структурою й параметрами систем моніторингу. Сформований генеральний перелік часткових критеріїв безпосередньо або опосередковано ставить вимоги до оперативності, достовірності й повноти одержуваної інформації моніторингу. Керуючись табл. 3.1, одержимо систему критеріїв для синтезу надлишкової структури СМ:

$$TX = \begin{cases} TS_{i_{TS}} \rightarrow \max, \\ SNO_{i_{SNO}} \rightarrow \max, \\ STO_{i_{STO}} \rightarrow \max, \\ STK_{i_{STK}} \rightarrow \max, \end{cases} \quad FN = \begin{cases} TS_{i_{TS}^{FN}} \rightarrow \max, \\ SNO_{i_{SNO}^{FN}} \rightarrow \max, \\ STO_{i_{STO}^{FN}} \rightarrow \max, \\ STK_{i_{STK}^{FN}} \rightarrow \max, \end{cases} \quad (3.13)$$

$$FN_N(t) = \begin{cases} FN_{TS}(t) \rightarrow \max, FN_{SNO}(t) \rightarrow \max, \\ FN_{STO}(t) \rightarrow \max, FN_{STK}^{FN}(t) \rightarrow \max, \end{cases}$$

$$P_N(t) = \begin{cases} P_{TS, SNO}(t) \rightarrow \max, P_{TS, STO}(t) \rightarrow \max, \\ P_{TS, STK}(t) \rightarrow \max, P_{SNO, STO}(t) \rightarrow \max, \\ P_{SNO, STK}(t) \rightarrow \max, P_{STO, STK}(t) \rightarrow \max, \end{cases} \quad (3.14)$$

$$FnN(t) = \begin{cases} FN_N(t) \rightarrow \min, \\ P_N(t) \rightarrow \min, \end{cases}$$

$$SR = \begin{cases} SR_{PF} \rightarrow \min, \\ SR_{YS} \rightarrow \min, \\ SR_{KC} \rightarrow \min, \end{cases} \quad AR = \begin{cases} N_{SH}SN_{SH}^{-1} \rightarrow \min, \\ N_{PG}SN_{PG}^{-1} \rightarrow \min, \\ N_{KR}SN_{KR}^{-1} \rightarrow \min, \\ N_{PK}SN_{PK}^{-1} \rightarrow \min \end{cases} \quad IPO = \begin{cases} SR \rightarrow \min, \\ AR \rightarrow \min, \end{cases} \quad (3.15)$$

$$AR = \left(\frac{N_{SH}}{SN_{SH}} + \frac{N_{PG}}{SN_{PG}} + \frac{N_{KR}}{SN_{KR}} + \frac{N_{PK}}{SN_{PK}} \right) \rightarrow \min,$$

$$K = \begin{cases} K_{RS} \rightarrow \min, \\ K_{RP} \rightarrow \min, \\ K_{PodP} \rightarrow \min, \end{cases} \quad C = \begin{cases} C_{TOS} \rightarrow \min, \\ C_{TOP} \rightarrow \min, \\ C_{PodP} \rightarrow \min, \end{cases} \quad (3.16)$$

$$S = C + E_N K \rightarrow \min, \quad K = K_{RS} + K_{RP} + K_{PodP} \rightarrow \min,$$

$$C = C_{TOS} + T_{TOP} + C_{PodP} \rightarrow \min,$$

$$PSp(N) \rightarrow \min. \quad (3.17)$$

Перелік груп критеріїв, необхідних для ситуативного структурно-параметричного синтезу ІКК для конкретної КС, часових характеристик її виникнення й розвитку містить:

$$TX(N_{KS}) = \begin{cases} TS_{i_{TS}}(N_{KS}) \rightarrow \max, \\ SNO_{i_{SNO}}(N_{KS}) \rightarrow \max, \\ STO_{i_{STO}}(N_{KS}) \rightarrow \max, \\ STK_{i_{STK}}(N_{KS}) \rightarrow \max, \end{cases} \quad FN(N_{KS}) = \begin{cases} TS_{i_{TS}^{FN}}(N_{KS}) \rightarrow \max, \\ SNO_{i_{SNO}^{FN}}(N_{KS}) \rightarrow \max, \\ STO_{i_{STO}^{FN}}(N_{KS}) \rightarrow \max, \\ STK_{i_{STK}^{FN}}(N_{KS}) \rightarrow \max. \end{cases} \quad (3.18)$$

$$FN_N(t) = \begin{cases} FN_{TS}(t) \rightarrow \max, FN_{SNO}(t) \rightarrow \max, \\ FN_{STO}(t) \rightarrow \max, FN_{STK}^{FN}(t) \rightarrow \max, \end{cases}$$

$$P_N(t) = \begin{cases} P_{TS, SNO}(t) \rightarrow \max, P_{TS, STO}(t) \rightarrow \max, \\ P_{TS, STK}(t) \rightarrow \max, P_{SNO, STO}(t) \rightarrow \max, \\ P_{SNO, STK}(t) \rightarrow \max, P_{STO, STK}(t) \rightarrow \max, \end{cases} \quad (3.19)$$

$$FnN(t) = \begin{cases} FN_N(t) \rightarrow \min, \\ P_N(t) \rightarrow \min. \end{cases}$$

$$P_{OP_i}(t) = \begin{cases} K_{OP_i}(t) \rightarrow \max, \\ P_{\Phi_i}(t) \rightarrow \max, \\ P_{\Psi_i}(t) \rightarrow \max, \end{cases} \quad (3.20)$$

$$P_{OS}(t) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{OP_i}(t)) \rightarrow \max,$$

$$P_{OP_i}(t) = K_{OP_i}(t) P_{\Phi_i}(t) P_{\Psi_i}(t) \rightarrow \max.$$

$$SR(t) = \begin{cases} SR_{PF}(t) \rightarrow \min, \\ SR_{VS}(t) \rightarrow \min, AR(t) = \begin{cases} N_{SH}(t) SN_{SH}(t)^{-1} \rightarrow \min, \\ N_{PG} SN_{PG}(t)^{-1} \rightarrow \min, \\ N_{KR} SN_{KR}(t)^{-1} \rightarrow \min, \\ N_{PK} SN_{PK}(t)^{-1} \rightarrow \min \end{cases} \\ SR_{KC}(t) \rightarrow \min, \end{cases} \quad (3.21)$$

$$IPO(t) = \begin{cases} SR(t) \rightarrow \min, \\ AR(t) \rightarrow \min, \end{cases}$$

$$AR(t) = \left(\frac{N_{SH}(t)}{SN_{SH}(t)} + \frac{N_{PG}(t)}{SN_{PG}(t)} + \frac{N_{KR}(t)}{SN_{KR}(t)} + \frac{N_{PK}(t)}{SN_{PK}(t)} \right) \rightarrow \min.$$

Для синтезу надлишкової структури СМ не використовуються критерії ефективності виконання цільових завдань оператором, оскільки дана категорія критеріїв є динамічною й залежить від часу їх функціонування в системі. Ергатичність СМ для синтезу надлишкової структури враховується в категорії показників інженерно-психологічної оцінки, яка приймається за константу на етапі синтезу ІКК. У той же час динамічність ергатичного компонента є визначальною категорією для синтезу ІКК. У переліку критеріїв для синтезу надлишкової структури СМ і ІКК використовується економічна категорія, що в обох випадках вносить обмежувачий суперечливий фактор у розв'язок оптимізаційної задачі, особливо на тлі категорій функціональної стійкості СМ.

Модифіковані позначення в (3.18) – (3.21) стосуються введення як аргументу номера (типонамінала – класифікаційної ознаки) КС – $N_{КС}$ для функціональних залежностей груп показників і критеріїв технічних характеристик підсистем СМ і функціональної спрямованості підсистем СМ, а також часового параметра, що характеризує виникнення, модифікацію й розвиток КС для показників інженерно-психологічної оцінки ефективності СМ.

Сформований у такий спосіб перелік критеріальних вимог до ситуативного формування структури ІКК і його самоорганізації є конфліктним і враховує зміну вимог до СМ із урахуванням модифікації й розвитку КС, зміни характеристик і можливостей технічної складової СМ, а також психофізіологічного стану ергатичного компонента системи моніторингу, що формують ІКК із індивідуальними особливостями. По суті урахування усіх груп сформованих критеріїв забезпечує комплексне розв'язання задачі ситуативного структурно-параметричного синтезу надлишкової структури й функціонуючої на ній множини ІКК складної розподіленої функціонально надійної ергатичної СМ.

3.4. СИНТЕЗ САМООРГАНІЗОВАНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОЮ І ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЗАДАНИХ ОБ'ЄКТІВ

Синтез самоорганізованої математичної моделі ситуаційного управління структурою і параметрами систем моніторингу заданих об'єктів реалізується для синтезу надлишкової структури СМ і для формування ІКК під конкретну КС. В обох випадках синтез моделі реалізуємо як розв'язок оптимізаційної задачі методом зведення вектора часткових критеріїв до інтегрального критерію. Схеми агрегації часткових критеріїв реалізуємо ієрархічно (за принципом вкладених критеріїв агрегації) у межах виділених груп із використанням трьох критеріїв: згортки, адитивного й мультиплікативного [27, 36]. Кожний із них буде застосовуватися

з урахуванням фізичної сутності груп часткових критеріїв і кожного з них.

Адитивний критерій базується на операції зваженого підсумовування часткових нормованих (або без нормування) критеріїв оптимальності, що для дискретної форми їх опису має вигляд [27]:

$$Y(y_0) = \sum_{l=1}^b \gamma_{0l} y_{0l} \rightarrow \begin{matrix} \min \\ \max \end{matrix}. \quad (3.22)$$

У мультиплікативному критерії як базова операція агрегації часткових критеріїв використовується множення, що для дискретної форми відображається у вигляді [27]:

$$Y(y_0) = \prod_{l=1}^b \gamma_{0l} y_{0l} \rightarrow \begin{matrix} \min \\ \max \end{matrix}. \quad (3.23)$$

Критерій нелінійної згортки для дискретно заданих часткових критеріїв оптимальності має вигляд [36]:

$$Y(y_0) = \sum_{l=1}^b \gamma_{0l} (1 - y_{0l})^{-1} \rightarrow \min. \quad (3.24)$$

У (3.22) – (3.24) прийняті позначення: $l = 1..b$ – кількість включених у критерій агрегації часткових критеріїв оптимальності; γ_{0l} – нормований ваговий коефіцієнт; y_{0l} – нормований частковий критерій оптимальності.

Нормування вагових коефіцієнтів здійснюється відповідно до виразу

$$\gamma_{0l} = \gamma_l \left[\sum_{l=1}^b \gamma_l \right]^{-1}, \quad (3.25)$$

де γ_l – поточне (ненормоване) значення вагового коефіцієнта.

Для випадку мінімізованих критеріїв агрегації нормування часткових критеріїв оптимальності здійснюється окремо для мінімізованих y_{0l}^{\min} і максимізованих y_{0l}^{\max} :

$$y_{0l}^{\min} = y_l^{\min} \left[\sum_{i=1}^N y_{li}^{\min} \right]^{-1}, \quad y_{0l}^{\max} = \left(y_l^{\max} \sum_{i=1}^N \frac{1}{y_{li}^{\max}} \right)^{-1}. \quad (3.26)$$

Для реалізації принципу вкладених критеріїв агрегації реалізується ієрархічне нормування щодо найгіршого (у випадку мінімізованих критеріїв агрегації відповідає максимальному абсолютному значенню інтегрованого критерію для деякого рівня ієрархії вкладеності агрегованих операцій) варіанта компонування значень, що описують дискретну зміну часткових

критеріїв оптимальності. Дана процедура реалізується відповідно до виразів:

$$F_0 = \frac{F}{\max F}, \quad \max F = \sum_{l=1}^k \gamma_{l0} (1 - [\max F_l - \Delta])^{-1}, \quad (3.27)$$

де F – позначає інтегральні для деякого рівня ієрархії принципу вкладених критеріїв агрегації за схемою табл. 3.1; Δ – коефіцієнт запасу, що забезпечує усунення некоректних операцій при нормуванні.

Використання дискретної форми критеріїв (3.22) – (3.24) трансформує оптимізаційну задачу векторного критерію до виду багатокритеріального вибору, що вимагає формування досить великого переліку дискретних значень, що описують зміну часткових критеріїв оптимальності. Дана обставина ускладнює використання дискретних форм у задачах великої розмірності, що характерно для структурно-параметричного синтезу складних розподілених СМ. Тоді можливе використання аналогових форм агрегації часткових критеріїв, що для згортки за нелінійною схемою компромісів реалізується згідно з виразом [35]:

$$\chi^* = \arg \min_{\chi \in G} \sum_{l=1}^b \gamma_{l0} (1 - y_{0l}(\chi))^{-1} = F(\chi), \quad (3.28)$$

де χ – оптимізований параметр із його оптимальним значенням χ^* ; G – область визначення часткових критеріїв оптимальності визначення функцій часткових критеріїв оптимальності; $y_{0l}(\chi)$ – нормована функція l -го часткового критерію оптимальності.

Нормування часткових критеріїв оптимальності здійснюється в межах області G , щодо мінімального $\min y_l(\chi)$ або максимального $\max y_l(\chi)$ значень функції часткового критерію відповідно:

$$y_{0l}^{\max}(\chi) = \frac{\min y_l(\chi)}{y_l(\chi)}, \quad y_{0l}^{\min}(\chi) = \frac{y_l(\chi)}{\max y_l(\chi)}. \quad (3.29)$$

3.4.1. Математична модель синтезу надлишкової структури системи моніторингу

Математична модель синтезу надлишкової структури СМ. Її формування реалізуємо шляхом агрегації переліку критеріїв (3.13) – (3.17) ієрархічно за принципом їх вкладеності згідно зі схемою табл. 3.1. Розв’язання задачі структурно-параметричного синтезу СМ має особливість, що полягає в дискретному описі зміни всіх часткових критеріїв оптимальності табл. 3.1. Такий підхід для класу не тільки складної, але й великої системи, якою є СМ, вимагає формування вичерпного переліку

можливих варіантів конфігурації системи, що приведе задачу синтезу до багатокритерійного вибору шляхом реалізації значного обсягу комбінаторних операцій. Уникнути недоліків комбінаторного багатокритерійного вибору структури СМ можливо шляхом формалізації задачі синтезу в аналоговій формі опису часткових критеріїв оптимальності. Так, сформовані групи часткових критеріїв (див. (3.1) – (3.13), табл. 3.1) цілком обґрунтовано можуть бути розділені на аналогові й дискретні з аргументом, що характеризує альтернативу реалізації обраного для них показника. Тоді синтез для аналогових критеріїв полягає в знаходженні екстремуму функції інтегрального критерію оптимальності, а для дискретних – багатокритерійний вибір за відомого розв'язку для аналогових часткових критеріїв.

Формування модельних функцій, що описують зміну відібраних часткових критеріїв, реалізуємо в поліноміальному вигляді як результат використання методу найменших квадратів (МНК) [61]. Апроксимація за МНК застосовується до дискретного ряду, що описує зміну значень відповідного показника (технічної характеристики, числа, що характеризує функції конкретного програмно-технічного елемента СМ із наявного переліку для їхнього практичного застосування у СМ). Як аргумент функції часткових критеріїв χ (змінний, він же оптимізований параметр) використовується номер конкретного елемента СМ, що володіє конкретним значенням даного показника. Для аналогової форми даний параметр приймається як безперервна величина з наступним округленням результату до цілого значення [113].

Для синтезу надлишкової структури СМ, керуючись сутністю сформованих критеріальних вимог (3.13) – (3.17), до аналогового виду слід привести: технічні характеристики (3.13) – $TX(\chi)$; функціональної спрямованості (3.13) – $FN(\chi)$; інженерно-психологічної оцінки (3.15) – $IPO(\chi)$; економічні (3.16) – $SPR(\chi)$.

Формування оптимізаційних моделей шляхом агрегації часткових критеріїв вимагає розгляду конкретного прикладу, що пояснює подальші дії. Нехай розглядається деяка СМ, призначена для контролю стану екологічно небезпечного об'єкта й прилеглої до нього території. Як ТЗМ можливе використання: радіолокаційних станцій контролю повітряного простору (РЛС); засобів радіомоніторингу (РМ); систем відеоспостереження (СВС); видового моніторингу із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Як СНОІМ використовуються АРМ: обробки даних від РЛС, РМ, СВС, БПЛА (АРМ1...4); керування інформаційними потоками й серверного встаткування; аналітичної обробки даних (АРМ5); керування СМ (АРМ6). СТО формують: системи автономного,

безперебійного й стаціонарного живлення (СЖ); система життєзабезпечення персоналу (СЖЗП); транспортна база (ТБ). Компонентами СТК є: станція супутникового зв'язку (ССЗ); системи ультракороткохвильового й короткохвильового зв'язку (УКХЗ, КХЗ); система провідного зв'язку (ПЗ); мережеве обладнання (МО). Дані компоненти розмежовані ієрархічною структурою (табл. 3.2):

Таблиця 3.2

Взаємозв'язок структурних складових СМ у формалізованій задачі синтезу самоорганізованої математичної моделі

Категорія СМ		Категорія складної системи	Параметр у формалізованій задачі синтезу
Система моніторингу		Система	–
ТЗМ, СНОІМ, СТО, СТК		Підсистеми	TS, SNO, STO, STK
ТЗМ	РЛС, РМ, СВС, БПЛА	Елемент	i_{TS}
Категорія СМ		Категорія складної системи	Параметр у формалізованій задачі синтезу
ТЗМ	$RLS_{1,2,\dots}, RM_{1,2,\dots}, SVN_{1,2,\dots}, BPLA_{1,2,\dots}$	Варіанти реалізації елемента підсистеми СМ	χ – аналогова модель, N – дискретна модель
СНОІМ	$APM1_{\dots 4}, APM5, APM6$	Елемент	i_{SNO}
	$ARM_{1,\dots 4,1,2,\dots}, ARM5_{1,2,\dots}, ARM6_{1,2,\dots}$	Варіанти реалізації елемента підсистеми СМ	χ – аналогова модель, N – дискретна модель
СТО	СП, СПО, ТБ	Елемент	i_{STO}
	$SP_{1,2,\dots}, SPO_{1,2,\dots}, TB_{1,2,\dots}$	Варіанти реалізації елемента підсистеми СМ	χ – аналогова модель, N – дискретна модель
СТК	ССЗ, УКХЗ, КХЗ, ПЗ, МО	Елемент	i_{STK}
	$SSS_{1,2,\dots}, UKVS_{1,2,\dots}, KVS_{1,2,\dots}, Pr.S_{1,2,\dots}, SOb_{1,2,\dots}$	Варіанти реалізації елемента підсистеми СМ	χ – аналогова модель, N – дискретна модель

З урахуванням викладеного й уведених позначень формуємо аналогові математичні моделі синтезу надлишкової структури СМ, керуючись (3.13), (3.15), (3.16), згортокою у формі (3.28), нормуванням часткових критеріїв за (3.29), а інтегрованих – за (3.27).

У результаті одержимо для ТЗМ:

$$\begin{aligned}
 F_{iTS}(\chi) = & \gamma_{i10}^{TS} \left(1 - TS_{iTS,0}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{TS} \left(1 - TS_{iTS,0}^{SN}(\chi)\right)^{-1} + \\
 & + \gamma_{i30}^{TS} \left(1 - IPO_{iTS0}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i40}^{TS} \left(1 - S_{iTS0}(\chi)\right)^{-1},
 \end{aligned}
 \tag{3.30}$$

$$\chi_{TS}^* = \arg \min_{\chi \in G} F_{ITS}(\chi),$$

$$IPO_{ITS}(\chi) = \gamma_{i10}^{TS} \left(1 - SR_{iPF0}^{TS}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{TS} \left(1 - SR_{iVS0}^{TS}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{TS} \left(1 - SR_{iKS0}^{TS}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i40}^{TS} \left(1 - AR_{i0}^{TS}(\chi)\right)^{-1},$$

$$IPO_{iTS0}(\chi) = IPO_{ITS}(\chi) \left[\max IPO_{ITS}(\chi) \right]^{-1},$$

$$\max IPO_{ITS}(\chi) = \left(1 - \max SR_{iPF0}^{TS}(\chi)\right)^{-1} + \left(1 - \max SR_{iVS0}^{TS}(\chi)\right)^{-1} + \left(1 - \max SR_{iKS0}^{TS}(\chi)\right)^{-1} + \left(1 - \max AR_{i0}^{TS}(\chi)\right)^{-1},$$

$$AR_i^{TS}(\chi) = \frac{N_{iSH}^{TS}(\chi)}{SN_{iSH}^{TS}(\chi)} + \frac{N_{iPG}^{TS}(\chi)}{SN_{iPG}^{TS}(\chi)} + \frac{N_{iKR}^{TS}(\chi)}{SN_{iKR}^{TS}(\chi)} + \frac{N_{iPK}^{TS}(\chi)}{SN_{iPK}^{TS}(\chi)},$$

$$AR_{0i}^{TS}(\chi) = \frac{AR_i^{TS}(\chi)}{\max AR_i^{TS}(\chi)}.$$

Для СНОІМ:

$$F_{iSNO}(\chi) = \gamma_{i10}^{SNO} \left(1 - SNO_{iSNO0}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{SNO} \left(1 - SNO_{iSNO0}^{FN}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{SNO} \left(1 - IPO_{iSNO0}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i40}^{SNO} \left(1 - S_{iSNO0}(\chi)\right)^{-1}, \quad (3.31)$$

$$\chi_{SNO}^* = \arg \min_{\chi \in G} F_{iSNO}(\chi),$$

$$IPO_{iSNO}(\chi) = \gamma_{i10}^{SNO} \left(1 - SR_{iPF0}^{SNO}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{SNO} \left(1 - SR_{iVS0}^{SNO}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{SNO} \left(1 - SR_{iKS0}^{SNO}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i40}^{SNO} \left(1 - AR_{i0}^{SNO}(\chi)\right)^{-1},$$

$$IPO_{iSNO0}(\chi) = \frac{IPO_{iSNO}(\chi)}{\max IPO_{iSNO}(\chi)},$$

$$\max IPO_{iSNO}(\chi) = \left(1 - \max SR_{iPF0}^{SNO}(\chi)\right)^{-1} + \left(1 - \max SR_{iVS0}^{SNO}(\chi)\right)^{-1} + \left(1 - \max SR_{iKS0}^{SNO}(\chi)\right)^{-1} + \left(1 - \max AR_{i0}^{SNO}(\chi)\right)^{-1},$$

$$AR_i^{SNO}(\chi) = \frac{N_{iSH}^{SNO}(\chi)}{SN_{iSH}^{SNO}(\chi)} + \frac{N_{iPG}^{SNO}(\chi)}{SN_{iPG}^{SNO}(\chi)} + \frac{N_{iKR}^{SNO}(\chi)}{SN_{iKR}^{SNO}(\chi)} + \frac{N_{iPK}^{SNO}(\chi)}{SN_{iPK}^{SNO}(\chi)},$$

$$AR_{0i}^{SNO}(\chi) = \frac{AR_i^{SNO}(\chi)}{\max AR_i^{SNO}(\chi)}.$$

Для СТО:

$$\begin{aligned} F_{iSTO}(\chi) &= \gamma_{i10}^{STO} \left(1 - STO_{iSTO0}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{STO} \left(1 - STO_{i^{FN}STO0}(\chi)\right)^{-1} + \\ &+ \gamma_{i30}^{STO} \left(1 - IPO_{iSTO0}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i40}^{STO} \left(1 - S_{iSTO0}(\chi)\right)^{-1}, \end{aligned} \quad (3.32)$$

$$\chi_{STO}^* = \arg \min_{\chi \in G} F_{iSTO}(\chi),$$

$$\begin{aligned} IPO_{iSTO}(\chi) &= \gamma_{i10}^{STO} \left(1 - SR_{iPF0}^{STO}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{STO} \left(1 - SR_{iVS0}^{STO}(\chi)\right)^{-1} + \\ &+ \gamma_{i30}^{STO} \left(1 - SR_{iKS0}^{STO}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{STO} \left(1 - AR_{i0}^{STO}(\chi)\right)^{-1}, \end{aligned}$$

$$IPO_{iSTO0}(\chi) = \frac{IPO_{iSTO}(\chi)}{\max IPO_{iSTO}(\chi)},$$

$$\begin{aligned} \max IPO_{iSTO}(\chi) &= \left(1 - \max SR_{iPF0}^{STO}(\chi)\right)^{-1} + \left(1 - \max SR_{iVS0}^{STO}(\chi)\right)^{-1} + \\ &+ \left(1 - \max SR_{iKS0}^{STO}(\chi)\right)^{-1} + \left(1 - \max AR_{i0}^{STO}(\chi)\right)^{-1}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AR_i^{STO}(\chi) &= \frac{N_{iSH}^{STO}(\chi)}{SN_{iSH}^{STO}(\chi)} + \frac{N_{iPG}^{STO}(\chi)}{SN_{iPG}^{STO}(\chi)} + \frac{N_{iKR}^{STO}(\chi)}{SN_{iKR}^{STO}(\chi)} + \frac{N_{iPK}^{STO}(\chi)}{SN_{iPK}^{STO}(\chi)}, \\ AR_{0i}^{STO}(\chi) &= \frac{AR_i^{STO}(\chi)}{\max AR_i^{STO}(\chi)}. \end{aligned}$$

Для СТК:

$$\begin{aligned} F_{iSTK}(\chi) &= \gamma_{i10}^{STK} \left(1 - STK_{iSTK0}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{STK} \left(1 - STK_{i^{FN}STK0}(\chi)\right)^{-1} + \\ &+ \gamma_{i30}^{STK} \left(1 - IPO_{iSTK0}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i40}^{STK} \left(1 - S_{iSTK0}(\chi)\right)^{-1}, \end{aligned} \quad (3.33)$$

$$\chi_{STK}^* = \arg \min_{\chi \in G} F_{iSTK}(\chi),$$

$$\begin{aligned} IPO_{iSTK}(\chi) &= \gamma_{i10}^{STK} \left(1 - SR_{iPF0}^{STK}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{STK} \left(1 - SR_{iVS0}^{STK}(\chi)\right)^{-1} + \\ &+ \gamma_{i30}^{STK} \left(1 - SR_{iKS0}^{STK}(\chi)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{STK} \left(1 - AR_{i0}^{STK}(\chi)\right)^{-1}, \end{aligned}$$

$$IPO_{iSTK0}(\chi) = \frac{IPO_{iSTK}(\chi)}{\max IPO_{iSTK}(\chi)},$$

$$\max IPO_{iSTK}(\chi) = \left(1 - \max SR_{iPF0}^{STK}(\chi)\right)^{-1} + \left(1 - \max SR_{iVS0}^{STK}(\chi)\right)^{-1} +$$

$$+ \left(1 - \max SR_{iKS0}^{STK}(\chi)\right)^{-1} + \left(1 - \max AR_{i0}^{STK}(\chi)\right)^{-1},$$

$$AR_i^{STK}(\chi) = \frac{N_{iSH}^{STK}(\chi)}{SN_{iSH}^{STK}(\chi)} + \frac{N_{iPG}^{STK}(\chi)}{SN_{iPG}^{STK}(\chi)} + \frac{N_{iKR}^{STK}(\chi)}{SN_{iKR}^{STK}(\chi)} + \frac{N_{iPK}^{STK}(\chi)}{SN_{iPK}^{STK}(\chi)},$$

$$AR_{0i}^{STK}(\chi) = \frac{AR_i^{STK}(\chi)}{\max AR_i^{STK}(\chi)}.$$

В отриманих виразах уведена індексація відповідно до позначень, прийнятих для ідентифікації структурних елементів СМ, зазначених у табл. 3.2. Для спрощення запису, позначення вагових коефіцієнтів прийняті ідентичні для всіх підсистем СМ, хоча їх числові значення можуть бути різними. Якщо для конкретного елемента СМ його характеристика, відображувана тією або іншою критеріальною функцією й використовується у сформованих моделях ((3.30) – (3.33)) не властива (відсутня, наприклад вартість програмного забезпечення дизельного агрегата), її ваговий коефіцієнт приймається рівним нулю, що усуває її із процесу пошуку рішення.

Отримані моделі забезпечують визначення елемента СМ із оптимальними за критеріями (3.13), (3.15), (3.16) технічними характеристиками, функціональністю, ергономічністю й вартістю. Надалі ці моделі ((3.30) – (3.33)) будемо називати *параметричними*, тобто такими, що визначають параметри елементів СМ. Із відібраних елементів формується структура базового технічного модуля СМ, що визначається критеріями й вимогами до функціональної стійкості системи, а по суті до розгалуженості зв'язків між надмірністю структурних елементів. Далі реалізується об'єднання розв'язків аналогових моделей (3.30) – (3.33) з вимогами суто дискретних комбінаторних критеріїв функціональної стійкості й обмежувальними вимогами вартості базового модуля СМ. Надалі тільки дискретні моделі (функціональної стійкості й вартості всього базового модуля) будемо називати *структурними*, тобто такими, що визначають структуру базового модуля СМ, а їх композиційний модельний зв'язок – *структурно-параметричними моделями*. Слід зазначити, що використовуваний в аналогових моделях економічний критерій стосується тільки характеристики елемента СМ. Тому його використання в дискретній моделі виправдане, оскільки характеризує зовсім іншу категорію.

Формування структурних оптимізаційних моделей із дискретним описом зміни часткових критеріїв реалізується з використанням дискретної згортки (3.24), а також мультиплікативного й адитивного агрегаційних критеріїв. Нормування вагових коефіцієнтів і часткових критеріїв реалізується за (3.23) і (3.24), а вкладених критеріїв за (3.27). У переліку критеріальних вимог (3.13) – (3.17) дискретний опис мають групи функціональної стійкості й економічні. Для формування структурно-параметричних моделей отримані з аналогових моделей (3.30) – (3.33) розв’язки в дискретній згортці представляються як дискретно змінювані лінійні процеси – нормовані за (3.26) константи: $F_{ITS0}(\chi_{ITS}^*)$, $F_{ISNO0}(\chi_{SNO}^*)$, $F_{ISTO0}(\chi_{STO}^*)$, $F_{ISTKO}(\chi_{STK}^*)$. Змінюваним (він же є оптимізованим) параметром для побудови структурних моделей і розв’язку задачі структурно-параметричного синтезу прийнята кількість i -х елементів у СМ – N . Припускаючи для синтезу базового модуля надлишкової структури $SMt = const$, уведемо позначення для опису дискретних критеріїв функціональної стійкості – $FN_N(t, N)$, $P_N(t, N)$, $FnN(t, N)$, а для вартості – $S(N)$. Нормування вкладених для всіх рівнів ієрархії критеріїв оптимальності здійснюється аналогічно раніше описаним підходам і виразам.

Агрегація часткових критеріїв (3.13) – (3.17) у дискретній формі з урахуванням розв’язків (3.30) – (3.33) здійснюється за схемою, наведеною на рис. 3.3. Агрегація часткових критеріїв реалізується з нижнього рівня декомпозиції складної СМ (від елемента) до вищого рівня – “підсистема – система”. При цьому враховується належність часткових критеріїв до груп і категорій (табл. 3.1). На рівні елементів із параметричних моделей (3.30) – (3.33) формуються структурні моделі шляхом доповнення перших частковими критеріями структурної функціональної стійкості. На рівні підсистеми й системи формуються структурно-параметричні моделі синтезу надлишкової структури базового модуля СМ.

З урахуванням викладеного, одержимо структурні моделі:

$$F_{ITS}(N) = \gamma_{i10}^{TS} \left(1 - F_{ITS0}(\chi_{ITS}^*)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{TS} \left(1 - FN_{ITS0}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min,$$

$$F_{ITS0}(N) = \frac{F_{ITS}(N)}{\max F_{ITS}(N)}, \quad (3.34)$$

$$\max F_{ITS}(N) = \gamma_{i10}^{TS} \left(1 - \max F_{ITS}(\chi_{ITS}^*)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{TS} \left(1 - \max FN_{ITS0}(t, N)\right)^{-1},$$

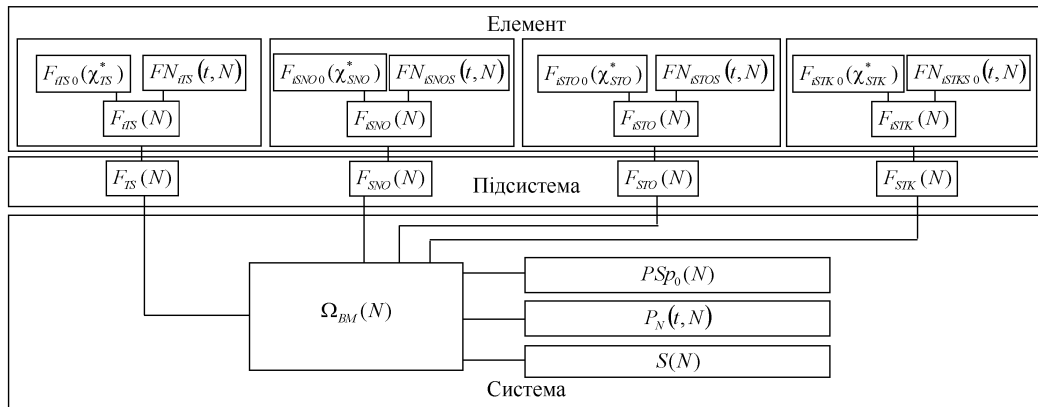


Рис. 3.3

$$\begin{aligned}
F_{iSNO}(N) &= \gamma_{i10}^{SNO} \left(1 - F_{iSNO0}(\chi_{SNO}^*)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{SNO} \left(1 - FN_{iSNO0}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min, \\
F_{iSNO0}(N) &= \frac{F_{iSNO}(N)}{\max F_{iSNO}(N)}, \\
\max F_{iSNO}(N) &= \gamma_{i10}^{SNO} \left(1 - \max F_{iSNO}(\chi_{SNO}^*)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i20}^{SNO} \left(1 - \max FN_{iSNO}(t, N)\right)^{-1},
\end{aligned} \tag{3.35}$$

$$\begin{aligned}
F_{iSTO}(N) &= \gamma_{i10}^{STO} \left(1 - F_{iSTO0}(\chi_{STO}^*)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{STO} \left(1 - FN_{iSTO0}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min, \\
F_{iSTO0}(N) &= \frac{F_{iSTO}(N)}{\max F_{iSTO}(N)}, \\
\max F_{iSTO}(N) &= \gamma_{i10}^{STO} \left(1 - \max F_{iSTO}(\chi_{STO}^*)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i20}^{STO} \left(1 - \max FN_{iSTO}(t, N)\right)^{-1}.
\end{aligned} \tag{3.36}$$

$$\begin{aligned}
F_{iSTK}(N) &= \gamma_{i10}^{STK} \left(1 - F_{iSTK0}(\chi_{STK}^*)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{STK} \left(1 - FN_{iSTK0}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min. \\
F_{iSTK0}(N) &= \frac{F_{iSTK}(N)}{\max F_{iSTK}(N)}, \\
\max F_{iSTK}(N) &= \gamma_{i10}^{STK} \left(1 - \max F_{iSTK}(\chi_{STK}^*)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i20}^{STK} \left(1 - \max F_{iSTK}(t, N)\right)^{-1},
\end{aligned} \tag{3.37}$$

$$\begin{aligned}
P_{iN}(t, N) &= \gamma_{i10}^P \left(1 - P_{TS, SNO0}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^P \left(1 - P_{TS, STO0}(t, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i30}^P \left(1 - P_{TS, STK0}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i40}^P \left(1 - P_{SNO, STO0}(t, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i50}^P \left(1 - P_{SNO, STK0}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i60}^P \left(1 - P_{STO, STK0}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min.
\end{aligned} \tag{3.38}$$

$$S_i(N) = \gamma_{i0}^{TS} S_{iTS} + \gamma_{i0}^{SNO} S_{iSNO} + \gamma_{i0}^{STO} S_{iSTO} + \gamma_{i0}^{STK} S_{iSTK} \rightarrow \min. \tag{3.39}$$

Структурно-параметричні моделі базового модуля СМ мають вигляд:

$$F_{iTS}(N) = \sum_{i=1}^{I_{TS}} \gamma_{i0}^{TS} \left(1 - F_{iTS0}(N)\right)^{-1} \rightarrow \min, \tag{3.40}$$

$$F_{SNO}(N) = \sum_{i=1}^{I_{SNO}} \gamma_{i0}^{SNO} (1 - F_{iSNO0}(N))^{-1} \rightarrow \min,$$

$$F_{STO}(N) = \sum_{i=1}^{I_{STO}} \gamma_{i0}^{STO} (1 - F_{iSTO0}(N))^{-1} \rightarrow \min,$$

$$F_{STK}(N) = \sum_{i=1}^{I_{STK}} \gamma_{i0}^{STK} (1 - F_{iSTK0}(N))^{-1} \rightarrow \min.$$

$$P_N(t, N) = \sum_{i=1}^{I_{TS}, I_{SNO}, I_{STO}, I_{STK}} \gamma_{i0}^P (1 - P_{iN0}(t, N))^{-1} \rightarrow \min. \quad (3.41)$$

$$S(N) = \sum_{i=1}^{I_{TS}, I_{SNO}, I_{STO}, I_{STK}} \gamma_{i0}^S S_i(N) \rightarrow \min. \quad (3.42)$$

$$\begin{aligned} \Omega_{BM}(N) = & \gamma_{10} (1 - F_{TS0}(N))^{-1} + \gamma_{20} (1 - F_{SNO0}(N))^{-1} + \\ & + \gamma_{30} (1 - F_{STO0}(N))^{-1} + \gamma_{40} (1 - F_{STK0}(N))^{-1} + \gamma_{50} (1 - P_{N0}(t, N))^{-1} + \\ & + \gamma_{60} (1 - S_0(N))^{-1} + \gamma_{70} (1 - PSp_0(N))^{-1} \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (3.43)$$

$$N^{opt} = \Omega_{BM}(N) = \min. \quad (3.44)$$

Таким чином, вираз (3.43) є *оптимізаційною математичною моделлю синтезу надлишкової структури базового модуля СМ*. Розв'язком оптимізаційної задачі є оптимальне значення змінюваного параметра, який відповідає переліку й кількості конкретних програмно-технічних елементів *базового модуля СМ*. Її надлишкова структура може нарощуватися із сукупності *базових модулів*, що визначається рангом СМ (місцева (тактична), регіональна (оперативна), глобальна (стратегічна)) і рівнем (розміром) об'єкта (об'єктів) моніторингу. Базовий модуль можна також розглядати як надлишкову структуру СМ місцевого (тактичного) рівня. Цей процес, по суті, визначається й обмежується кількістю базових модулів, необхідних для формування надлишкової структури СМ і реалізується за технологією формування динамічних фрактальних структур, на полі яких надалі формуються, розбудовуються й функціонують ПКК [47].

У моделі (3.43) об'єднані: критеріальні вимоги до технічної складової з урахуванням ергономічних вимог; забезпечення структурної надмірності для підтримки високого рівня функціональної стійкості системи й можливостей реагування на потік КС; ієрархія критеріальних вимог до елемента, підсистеми й до системи в цілому; аналогово-дискретний спосіб опису часткових критеріїв оптимальності й переваги кожного з них. Оптимізаційна

математична модель синтезу надлишкової структури базового модуля СМ у вигляді (3.43) дає розвиток методу розв'язання багатокритерійних задач, що базується на зведенні вектора часткових критеріїв до єдиного функціонала за нелінійною схемою компромісів. Відмітність запропонованого підходу від відомих полягає у спільному використанні аналогових і дискретних критеріїв. Отримана модель (3.43) має ряд загальнотеоретичних і прикладних переваг та особливостей:

реалізована відмінна від відомих підходів схема розв'язання задачі структурно-параметричного синтезу: на першому етапі визначаються елементи складної системи оптимально за параметрами існуючих топонаміналів, а на другому етапі з відібраних елементів формується кількісний склад і конфігурація структури складної системи;

результуючий функціонал, сформований для пошуку оптимального розв'язку, дає дискретно-аналогову згортку за нелінійною схемою компромісів;

аналогове розв'язання оптимізаційної задачі деградує в дискретній згортці до лінійної (або постійної) залежності часткового критерію від змінюваного параметра;

запропонований підхід забезпечує послідовне зменшення розмірності задачі структурно-параметричного синтезу складних і великих систем;

суть і переваги аналогового й дискретного способу опису часткових критеріїв зберігаються й підсилюються з виключенням їх недоліків.

Таким чином, у формуванні оптимізаційної математичної моделі синтезу надлишкової структури базового модуля СМ запропонована й уперше використана дискретно-аналогова згортка за нелінійною схемою компромісів для агрегації вектора часткових критеріїв оптимальності.

3.4.2. Самоорганізована математична модель ситуаційного структурно-параметричного синтезу інформаційно-керуючого кластера системи моніторингу

Самоорганізована математична модель ситуаційного структурно-параметричного синтезу ІКК. Синтез даної моделі реалізуємо в припущенні наявності образу КС із вимогами до ІКК (формуляр КС [45]). Така інформація міститься в базі даних СМ, що еволюціонує, зміна й доповнення якої здійснюється з досвіду практичної експлуатації СМ. При цьому ситуаційний синтез кластера реалізується на вимогу максимального наближення, а не повної відповідності синтезованої структури ІКК його образу-формуляру.

Отже, формуляр КС є атрактором для ІКК. У даному випадку самоорганізація складної системи (яка задовольняє всі вимоги для існування цього процесу [58]) полягає в динамічності процесу синтезу ІКК у часі,

син-хронізованому із процесом виникнення, модифікації й розвитку КС (див. рис. 3.1). Таким чином, еволюція ІКК виявляється у зміні його структурно-параметричних властивостей при зміні значень внутрішніх показників, викликаних зовнішніми й внутрішніми факторами, а також розвитком потоку КС. Для синтезу ІКК вважається також відомою надлишкова структура СМ для заданого рангу. Тобто синтез ІКК для конкретної КС реалізується на обмеженому полі заданих елементів і підсистем СМ.

Синтез ІКК реалізується за множиною часткових критеріїв (3.18) – (3.21) у дискретному способі їх опису шляхом зведення багатокритеріальної задачі до єдиного функціонала за нелінійною схемою компромісів (3.24). Нормування критеріїв, що включаються в згортку, здійснюється за (3.25), (3.26) і (3.27). Змінюваним та оптимізованим параметром, використовуваним далі як аргумент критеріальних дискретних функцій (3.18) – (3.21), приймається кількість i -х елементів підсистем базових модулів ІКК – N . Для синтезу ІКК зазначений перелік часткових критеріїв доповнено обмежуючою вимогою пропускну здатності ІКК.

Для кластера достатньо мати можливість обробки однієї конкретної КС, при цьому обробку їх потоку забезпечує процедура реконфігурації СМ для виділення конкретного кластера. Тобто пропускну здатність ІКК із вимогою її мінімізації (але з обробкою не менше однієї КС) забезпечує максимізацію пропускну здатності СМ у цілому, що в прийнятих позначеннях (3.12) має вигляд:

$$PSP_{IUK}(N) = 1 - PSP(N)^{-1} \rightarrow \min. \quad (3.45)$$

З урахуванням викладеного, одержимо інтегрований критерій для ІКК:

$$\begin{aligned} F_{ITS}(t, N_{KS}, N) &= \gamma_{i10}^{TS} \left(1 - TS_{iTS0}(N_{KS}, N)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{TS} \left(1 - TS_{iTS0}^{FN}(N_{KS}, N)\right)^{-1} + \\ &+ \gamma_{i30}^{TS} \left(1 - FN_{TS0}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{TS} \left(1 - P_{OPi0}^{SNO}(t, N)\right)^{-1} + \\ &+ \gamma_{i20}^{TS} \left(1 - IPO_{ITS0}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min. \quad (3.46) \\ IPO_{ITS}(t, N) &= \gamma_{i10}^{TS} \left(1 - SR_{iPF0}^{TS}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{TS} \left(1 - SR_{iVS0}^{TS}(t, N)\right)^{-1} + \\ &+ \gamma_{i30}^{TS} \left(1 - SR_{iKS0}^{TS}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{TS} \left(1 - AR_{i0}^{TS}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{iSNO}(t, N_{KS}, N) &= \gamma_{i10}^{SNO} \left(1 - SNO_{iSNO0}(N_{KS}, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i20}^{SNO} \left(1 - SNO_{iSNO0}^{FN}(N_{KS}, N)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{SNO} \left(1 - FN_{SNO0}(t, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i20}^{SNO} \left(1 - P_{OPi0}^{SNO}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{SNO} \left(1 - IPO_{iSNO0}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min, \quad (3.47)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
IPO_{iSNO}(t, N) &= \gamma_{i10}^{SNO} \left(1 - SR_{iPF0}^{SNO}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{SNO} \left(1 - SR_{iVS0}^{SNO}(t, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i30}^{SNO} \left(1 - SR_{iKS0}^{SNO}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{SNO} \left(1 - AR_{i0}^{SNO}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{iSTO}(t, N_{KS}, N) &= \gamma_{i10}^{STO} \left(1 - STO_{iSTO0}(N_{KS}, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i20}^{STO} \left(1 - STO_{iSTO0}^{FN}(N_{KS}, N)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{STO} \left(1 - FN_{STO0}(t, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i20}^{STO} \left(1 - P_{OPi0}^{STO}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{STO} \left(1 - IPO_{iSTO0}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min, \quad (3.48)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
IPO_{iSTO}(t, N) &= \gamma_{i10}^{STO} \left(1 - SR_{iPF0}^{STO}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{STO} \left(1 - SR_{iVS0}^{STO}(t, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i30}^{STO} \left(1 - SR_{iKS0}^{STO}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{STO} \left(1 - AR_{i0}^{STO}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{iSTK}(t, N_{KS}, N) &= \gamma_{i10}^{STK} \left(1 - STK_{iSTK0}(N_{KS}, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i20}^{STK} \left(1 - STK_{iSTK0}^{FN}(N_{KS}, N)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{STK} \left(1 - FN_{STK0}(t, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i20}^{STK} \left(1 - P_{OPi0}^{STK}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{STK} \left(1 - IPO_{iSTK0}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min, \quad (3.49)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
IPO_{iSTK}(t, N) &= \gamma_{i10}^{STK} \left(1 - SR_{iPF0}^{STK}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i20}^{STK} \left(1 - SR_{iVS0}^{STK}(t, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{i30}^{STK} \left(1 - SR_{iKS0}^{STK}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{i30}^{STK} \left(1 - AR_{i0}^{STK}(t, N)\right)^{-1} \rightarrow \min.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Omega_{iBM}(t, N_{KS}, N) &= \gamma_{10} \left(1 - F_{iTS0}(t, N_{KS}, N)\right)^{-1} + \gamma_{20} \left(1 - F_{iSNO0}(t, N_{KS}, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{30} \left(1 - F_{iSTO0}(t, N_{KS}, N)\right)^{-1} + \gamma_{40} \left(1 - F_{iSTK0}(t, N_{KS}, N)\right)^{-1} + \\
&+ \gamma_{50} \left(1 - P_{iN0}(t, N)\right)^{-1} + \gamma_{60} \left(1 - PSp_{iUK0}(N)\right)^{-1} \rightarrow \min. \quad (3.50)
\end{aligned}$$

Формування узагальненого критерію $P_{iN0}(t, N)$ реалізується відповідно до (3.38). У сформованій таким чином моделі враховані: характеристики,

можливості й властивості базового модуля надлишкової структури ІКК; підготовленість і динаміка зміни стану ергатичної складової – оперативного складу СМ; зміни зовнішніх і внутрішніх умов функціонування СМ; процеси виникнення, модифікації й розвитку КС. Формуляр (образ) КС формується аналогічно до моделі (3.50) за виразом:

$$\begin{aligned} \Omega_{BM}^{KSi}(t, N_{KS}, N) = & \gamma_{10} \left(1 - F_{ITS0}^{KS}(t, N_{KS}, N)\right)^{-1} + \\ & + \gamma_{20} \left(1 - F_{ISNO0}^{KS}(t, N_{KS}, N)\right)^{-1} + \gamma_{30} \left(1 - F_{ISTO0}^{KS}(t, N_{KS}, N)\right)^{-1} + \\ & + \gamma_{40} \left(1 - F_{ISTK0}^{KS}(t, N_{KS}, N)\right)^{-1} + \gamma_{50} \left(1 - P_{iN0}^{KS}(t, N)\right)^{-1} + \\ & + \gamma_{60} \left(1 - PSp_{iUK0}^{KS}(N)\right)^{-1} \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (3.51)$$

Рішення про вибір елементів для синтезу ІКК здійснюється шляхом контролю виконання умови

$$\frac{\Omega_{iBM}(t, N_{KS}, N)}{\Omega_{BM}^{KSi}(t, N_{KS}, N)} \rightarrow \min. \quad (3.52)$$

Самоорганізація математичної моделі (3.50) ситуаційного структурно-параметричного синтезу ІКК виявляється в часі й полягає в послідовному наближенні структури кластера до атратора (3.51) з розвитком конкретної КС і реалізації процесу обробки у СМ потоку кризових ситуацій. Формування ІКК за моделлю (3.50) по суті передбачає багатокритерійний вибір базового модуля СМ із властивостями, найбільш наближеними до атратора системи – образу. Урахування будь-яких змін у властивостях, характеристиках або завантаженості окремих елементів конкретного кластера реалізується у зміні значень показників, що характеризують критеріальні вимоги до синтезу, аж до заміни конкретних значень найгіршим варіантом їх реалізації. Процес реконфігурації СМ для синтезу ІКК за моделлю (3.50) слід проводити для кожного моменту виникнення нової КС (див. рис. 3.1), але з урахуванням пріоритету їх обробки, ступеня напруженості ситуації, а також режиму функціонування ІКК і СМ у цілому.

3.4.3. Оцінювання ефективності ситуаційного синтезу структури інформаційно-керуючого кластера

Оцінювання ефективності ситуаційного синтезу структури ІКК реалізується за узагальненими критеріальними вимогами, що входять до моделі (3.50), шляхом її зіставлення з вимогами формуляра поточної КС. Раніше відзначалося, що строгої рівності між властивостями формованого

ІКК і вимогами формуляра КС не буде, що обумовлено впливом зовнішніх і внутрішніх факторів, а також унікальністю змінюваних із часом властивостей кризової ситуації. Тому оцінювання ефективності здійснюватимемо з контролем наближення динамічно змінюваної інтегральної оцінки самоорганізованої системи до атрактора – образу. Реалізувати це пропонується у вигляді кругової діаграми еволюції ІКК у межах надлишкової структури СМ. Координатною прив'язкою діаграми будуть показники:

$$\begin{aligned}
 &F_{ITS0}(t, N_{KS}, N) \text{ и } F_{ITS0}^{KS}(t, N_{KS}, N), F_{ISNO0}(t, N_{KS}, N) \text{ та} \\
 &F_{ISNO0}^{KS}(t, N_{KS}, N), \\
 &F_{ISTO0}(t, N_{KS}, N) \text{ и } F_{ISTO0}^{KS}(t, N_{KS}, N), F_{ISTK0}(t, N_{KS}, N) \text{ та} \\
 &F_{ISTK0}^{KS}(t, N_{KS}, N), \\
 &P_{iN0}(t, N) \text{ и } P_{iN0}^{KS}(t, N), PSp_{iIUK0}(N) \text{ и } PSp_{iIUK0}^{KS}(N).
 \end{aligned} \tag{3.53}$$

У результаті одержимо діаграму еволюції ІКК, зображену на рис. 3.4, а.

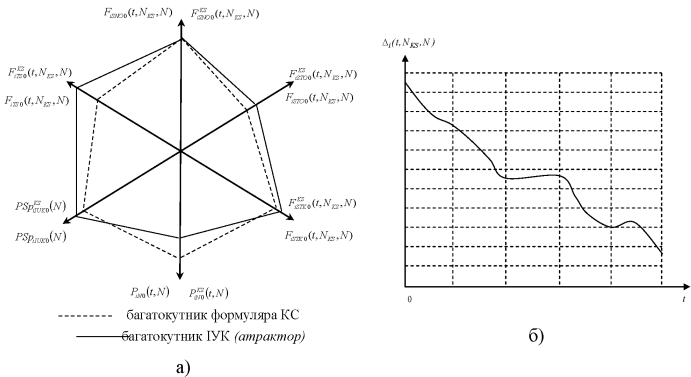


Рис. 3.4

Показником ефективності синтезу ІКК приймається абсолютне значення різниці площ фігур, що обмежуються координатами узагальнених показників ІКК і формуляра КС (3.53), який визначається відповідно до виразу:

$$\Delta_i(t, N_{KS}, N) = |S_{IUKi}(t, N_{KS}, N) - S_{KS_i}(t, N_{KS}, N)|. \tag{3.54}$$

$$S_{IUKi}(t, N_{KS}, N) = \frac{\sqrt{3}}{4} \left(\begin{array}{l} PSp_{IUK0}(N)F_{ITS0}(t, N_{KS}, N) + \\ + F_{ITS0}(t, N_{KS}, N)F_{iSNO0}(t, N_{KS}, N) + \\ + F_{iSNO0}(t, N_{KS}, N)F_{iSTO0}(t, N_{KS}, N) + \\ + F_{iSTO0}(t, N_{KS}, N)F_{iSTK0}(t, N_{KS}, N) + \\ + F_{iSTK0}(t, N_{KS}, N)P_{iN0}(t, N) + \\ + P_{iN0}(t, N)PSp_{IUK0}(N) \end{array} \right),$$

$$S_{KSi}(t, N_{KS}, N) = \frac{\sqrt{3}}{4} \left(\begin{array}{l} P_{iN0}^{KS}(t, N)F_{ITS0}^{KS}(t, N_{KS}, N) + \\ + F_{ITS0}^{KS}(t, N_{KS}, N)F_{iSNO0}^{KS}(t, N_{KS}, N) + \\ + F_{iSNO0}^{KS}(t, N_{KS}, N)F_{iSTO0}^{KS}(t, N_{KS}, N) + \\ + F_{iSTO0}^{KS}(t, N_{KS}, N)F_{iSTK0}^{KS}(t, N_{KS}, N) + \\ + F_{iSTK0}^{KS}(t, N_{KS}, N)P_{iN0}^{KS}(t, N) + \\ + PSp_{IUK0}^{KS}(N)P_{iN0}^{KS}(t, N) \end{array} \right).$$

Ефективність ситуаційного синтезу ІКК тим вища, чим менша величина $\Delta_i(t, N_{KS}, N)$. Числове значення показника ефективності можливо інтерпретувати в лінгвістичну характеристику за фундаментальною шкалою відповідності, наприклад виду, зазначеного в [113]. У термінах синергетики діаграма еволюції ІКК утворює фазовий простір синтезованого кластера, а зміна конфігурації *багатокутника ІКК* щодо *багатокутника формуляра КС* (*багатокутник атратора*) становить собою фазовий портрет ІКК. У той же час змінюваний у часі параметр $\Delta_i(t, N_{KS}, N)$ відображає еволюцію ІКК у самоорганізації й наближення до атратора (формуляра КС), що становить собою фазову траєкторію кластера (див. рис. 3.4, б). Зміни фазової траєкторії характеризують реконфігурацію ІКК у дискретні моменти часу, відповідно до режимів і потоку КС. Таким чином, уведена узагальнююча оцінка ефективності ситуаційного синтезу структури ІКК за параметром $\Delta_i(t, N_{KS}, N)$ дозволяє оцінювати як статичні, так і динамічні властивості синтезованого кластера в термінах теорії складних систем, використовуваних для реалізації аналізу й синтезу методів багатокритерійного аналізу й синергетичних підходів.

Проведені дослідження дозволяють зробити кілька висновків.

Для реалізації процесу структурно-параметричного синтезу системи моніторингу як складної розподіленої ергатичної інформаційно-керуючої системи запропонований генеральний перелік показників і критеріїв ефективності синтезованої системи. Сформований перелік урахує й

забезпечує синтез надлишкової структури СМ і ситуаційний синтез ІКК, а також оцінювання ефективності зазначених етапів. Дана обставина свідчить про достатню повноту урахування факторів, що характеризують систему моніторингу у статичному й динамічному режимах за технічними характеристиками програмно-апаратних елементів і підсистем та їх функціональність, властивості ергатичного компонента, вимоги функціональної надійності, ергономічності, пропускну здатності й групи економічних показників. Сформовані часткові показники й критерії можуть бути використані для аналізу й синтезу інших класів складних систем.

Для агрегації часткових критеріїв запропонована аналогово-дискретна форма згортки за нелінійною схемою компромісів, що є розвитком класичної схеми згортки. Дискретно-аналогова згортка поєднує простоту розв'язання оптимізаційної задачі в дискретній формі опису часткових критеріїв, а також повноту й адекватність аналогових моделей для опису часткових критеріїв оптимальності. У результаті аналогово-дискретна згортка забезпечує послідовне зменшення розмірності оптимізаційної задачі структурно-параметричного синтезу складних і великих систем моніторингу.

Сформована математична модель синтезу надлишкової структури СМ (3.43) має ряд загальнотеоретичних і прикладних переваг та особливостей: реалізована відмітна від відомих підходів схема розв'язання задачі структурно-параметричного синтезу: на першому етапі визначаються елементи складної системи оптимально за параметрами існуючих топоніміалів, а на другому з відібраних елементів формується кількісний склад і конфігурація структури складної системи; результуючий функціонал, сформований для пошуку оптимального розв'язку, дає дискретно-аналогову згортку за нелінійною схемою компромісів; аналоговий розв'язок оптимізаційної задачі деградує в дискретній згортці до лінійної (або постійної) залежності часткового критерію від змінюваного параметра; запропонований підхід забезпечує послідовне зменшення розмірності задачі структурно-параметричного синтезу складних і великих систем; суть і переваги аналогового й дискретного способу опису часткових критеріїв зберігаються й підсилюються з виключенням їх недоліків.

Запропонована математична модель ситуаційного структурно-параметричного синтезу ІКК має властивості самоорганізації, які виявляються в часі й полягають у послідовному наблизненні структури кластера до атрактора (3.51) із розвитком конкретної КС і реалізації процесу обробки у СМ потоку кризових ситуацій.

Оцінювання ефективності ситуаційного синтезу структури ІКК запропоновано реалізувати за узагальненими критеріальними вимогами, що входять до моделі (3.50) і її зіставлення з вимогами формуляра поточної

КС. Графічне відображення процесу оцінювання реалізується у формі кругової діаграми еволюції ІКК, а показником ефективності синтезу ІКК приймається абсолютне значення різниці площ фігур, що обмежуються координатами узагальнених показників ІКК і формуляра КС. Діаграма еволюції ІКК утворює фазовий простір синтезованого кластера, а зміна її конфігурації становить собою фазовий портрет кластера. Змінюваний у часі показник ефективності відображає еволюцію ІКК у самоорганізації й наближення до атратора у вигляді фазової траєкторії кластера. У такий спосіб узагальнююча оцінка ефективності ситуаційного синтезу структури ІКК дозволяє оцінювати як статичні, так і динамічні властивості синтезованого кластера в термінах теорії складних систем, використовуваних для реалізації аналізу й синтезу методів багатокритеріального аналізу й синергетичних підходів.

Розділ 4. КОНЦЕПЦІЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОНТРОЛЬОВАНИХ СИТУАЦІЙ НА ОСНОВІ САМООРГАНІЗАЦІЇ РІЗНОРІДНИХ ОЗНАК

4.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ НА РОЗРОБКУ КОНЦЕПЦІЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ САМООРГАНІЗАЦІЇ

Розвиток науково-технічного процесу у сфері інформаційних технологій останніх років призвів до посилення ролі складних автоматизованих систем управління, застосовуваних у багатьох галузях діяльності людини: управління державою в цілому; економіка; космонавтика; транспорт; військова сфера тощо. У результаті з'явилася нова сфера діяльності – кібернетичний простір, що поєднує в собі сукупність підсистем управління різного призначення, соціальну й технічну сфери. Наслідком цього став єдиний інформаційний простір, наповнений надлишковою різномірною інформацією, зі своїми правилами взаємодії, трансформації, розвитку й деградації, який оточує людину й супроводжує її у професійній і повсякденній діяльності.

Розглядаючи управління як взаємозалежний замкнений ланцюжок дій щодо розпізнавання, прогнозування, ідентифікації, ухвалення рішення й безпосередньо управління [150] в умовах надмірності внутрішньої й зовнішньої інформації, породжуваної єдиним інформаційним простором, можна виділити кілька особливостей такого процесу. Управління реалізується в умовах значної динамічності, апіорної невизначеності й нестандартності зміни зовнішньої обстановки й внутрішніх процесів системи керування. Має місце значна надмірність різномірної (за типом, часом одержання, вірогідністю й повнотою) інформації (фактів, даних, суджень). Управління здійснюється об'єктами із критичною структурою, що суттєво посилює вимоги до прийнятих рішень на реалізацію безпосередньо управління. При цьому розвиток інформаційних технологій не знижує ролі ергатичної складової системи керування (оператора). Зазначені особливості підвищують вимоги до математичного й програмно-алгоритмічного забезпечення сучасних автоматизованих ергатичних інформаційно-керуючих систем.

Тому актуальною є задача вироблення ефективних підходів до розробки математичного забезпечення автоматизованих ергатичних інформаційно-керуючих систем, що складають кібернетичний простір.

У розділі розглядається вирішення завдання ідентифікації. Ідентифікація необхідна для класифікації позаштатних (конфліктних) ситуацій у системах керування повітряним рухом, навігації космічних апаратів, ведення контролю радіоелектронної обстановки, а також для ідентифікації конфліктних ситуацій у разі функціонування ситуаційних центрів, виявлення комп'ютерних (кібернетичних) атак на системи керування, ідентифікації джерел радіовипромінювання різної природи й характеру.

Традиційно завдання ідентифікації вирішуються з використанням методів теорії розпізнавання образів [34, 118]. Відома множина базових підходів теорії розпізнавання образів [118]. Основний, на наш погляд, недолік, властивий їм, полягає в необхідності наявності статичної структури – образу об'єкта, що ідентифікується [34]. Зіставлення образу розпізнаваного об'єкта з оцінкою міри відповідності відбиває суть відомих методів ідентифікації. Складання образу з непрямих ознак ідентифікації є окремим складним завданням апіорного планування й виводить задачу ідентифікації з розряду некоректних. Такий підхід є неефективним у сучасних умовах, тому що неприйнятний для задач ідентифікації в умовах конфлікту зі значною апіорною невизначеністю, великою розмірністю й надмірністю внутрішньої й зовнішньої інформації.

Разом з тим практика показує, що саме в умовах конфлікту, апіорної невизначеності й великої розмірності існують реальні фізичні об'єкти макро- і мікросвіту атомів і планетарних відносин, взаємодії біологічних структур та організмів, а також перебігу багатьох процесів і явищ неживої природи [105, 144].

Останнім часом глибокого розвитку і значного поширення набули ідеї синергетики й методи самоорганізації, у тому числі стосовно задач управління. Тенденції розвитку й упровадження самоорганізованих підходів до розв'язання багатьох задач науки і техніки безпосередньо в умовах конфлікту, апіорної невизначеності та великої розмірності дозволяють припустити можливість їх успішного застосування для розв'язання задач ідентифікації.

Таким чином, метою даного розділу є розробка концепції ідентифікації на основі самоорганізації.

У загальному вигляді задача ідентифікації формулюється так. Існує множина об'єктів ідентифікації (ОІ) різного типу $R = \{R_1, R_2, \dots, R_i\}$, $i = 1..n$. Як ОІ розглядаються: конфліктні ситуації; інформаційні й кібернетичні атаки; комп'ютерні віруси; радіотехнічні системи (пілотовані й безпілотні повітряні), космічні апарати, пункти управління різного призначення з радіо- і радіолокаційними станціями й іншим устаткуванням, що мають випромінювання в акустичному, радіо-, видимому й інфрачервоному діапазонах хвиль) та інші системи, що підлягають ідентифікації, процеси,

події. Априорно є невизначеним тип ідентифікованих об'єктів, їх склад, кількість і динаміка дій (зміна стану).

Кожний ОІ має сукупність різнорідних ознак, які доцільно розділити на три категорії: факти; дані; судження. *Факти*, описувані далі множиною $F = \{F_1 \{f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1j}\}, F_2 \{f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2j}\}, \dots, F_i \{f_{ij}\}\}$, $j = 1 \dots m_1, m_2, \dots, m_i$, становлять собою об'єктивну інформацію про ОІ, представлену числовою величиною, наприклад космічний (або від аеродинамічного об'єкта) знімок ОІ, його обриси, склад, динаміка зміни форми і т.д. Категорія ознак *дані* – $D = \{D_1 \{d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1l}\}, D_2 \{d_{21}, d_{22}, \dots, d_{2l}\}, \dots, D_i \{d_{il}\}\}$, $l = 1 \dots L_1, L_2, \dots, L_i$ – поєднують вимірювальну інформацію про ОІ, наприклад його координати, параметри траєкторії руху (у тому числі екстрапольовані), характеристики випромінюваних сигналів, ефективна поверхня розсіювання, радіолокаційний портрет тощо. *Судження* – $S = \{S_1 \{s_{11}, s_{12}, \dots, s_{1k}\}, S_2 \{s_{21}, s_{22}, \dots, s_{2k}\}, \dots, S_i \{s_{ik}\}\}$, $k = 1 \dots K_1, K_2, \dots, K_i$ – поєднують суб'єктивну інформацію про ОІ, наприклад характер дій, зміст радіообміну “борт-земля” повітряного корабля, стан ОІ і т.д.

Конкретний ОІ R_i за своєю сутністю у статичному стані або в процесі функціонування об'єктивно містить у собі або породжує (у тому числі суб'єктивно) унікальну комбінацію з переліком належних йому підмножин ознак: фактів – $F_i \{f_{ij}\}$; даних – $D_i \{d_{il}\}$; суджень – $S_i \{s_{ik}\}$ із простору F, D, S . Причому унікальність ОІ відбивається не тільки комбінацією, але й числовими характеристиками окремих ознак. Хоча для різних ОІ числові значення, що описують деякі факти, дані й судження, можуть повторюватися. Останнє вимагає уточнення у вигляді обмежень на ступінь априорної невизначеності для кожної конкретної розв'язуваної задачі.

Тоді, відповідно до введених позначень, ОІ априорно можна охарактеризувати множиною:

$$R_i \subset F_i \{f_{ij}\} \cup D_i \{d_{il}\} \cup S_i \{s_{ik}\} = \{F_i \{f_{ij}\}, D_i \{d_{il}\}, S_i \{s_{ik}\}\} = R_i. \quad (4.1)$$

Априорна визначеність множини (4.1) пояснюється тим, що в розглянутому завданні ідентифікований об'єкт є технічною системою, створеною людиною із закладеними в ОІ властивостями й параметрами. Множину (4.1) надалі будемо називати *априорною множиною ознак ОІ*.

У процесі спостереження за об'єктами з метою їх ідентифікації для конкретного моменту часу в обмеженому контрольованому просторовому районі (розміри району визначаються конкретикою розв'язуваної задачі й характеристиками технічних засобів спостереження за ОІ) формуються *апостеріорні множини ознак*:

фактів – $\hat{F}_i \{ \hat{f}_{ij} \}$; даних – $\hat{D}_i \{ \hat{d}_{il} \}$; суджень – $\hat{S}_i \{ \hat{s}_{ik} \}$, що належать до того ж простору F, D, S .

$$W = \left\{ \begin{array}{l} F = \{ \hat{F}_1 \{ \hat{f}_{11}, \hat{f}_{12}, \dots, \hat{f}_{1j} \}, \hat{F}_2 \{ \hat{f}_{21}, \hat{f}_{22}, \dots, \hat{f}_{2j} \}, \dots, \hat{F}_i \{ \hat{f}_{ij} \} \}, \\ D = \{ \hat{D}_1 \{ \hat{d}_{11}, \hat{d}_{12}, \dots, \hat{d}_{1l} \}, \hat{D}_2 \{ \hat{d}_{21}, \hat{d}_{22}, \dots, \hat{d}_{2l} \}, \dots, \hat{D}_i \{ \hat{d}_{il} \} \}, \\ S = \{ \hat{S}_1 \{ \hat{s}_{11}, \hat{s}_{12}, \dots, \hat{s}_{1k} \}, \hat{S}_2 \{ \hat{s}_{21}, \hat{s}_{22}, \dots, \hat{s}_{2k} \}, \dots, \hat{S}_i \{ \hat{s}_{ik} \} \} \end{array} \right\} = \quad (4.2)$$

$$= \{ \hat{F}_i \{ \hat{f}_{ij} \}, \hat{D}_i \{ \hat{d}_{il} \}, \hat{S}_i \{ \hat{s}_{ik} \} \}.$$

Суть апостеріорних множин ознак – експериментальні дані й суб’єктивні оцінки з відповідними видами помилок. Апостеріорно невизначеною є належність отриманих (вимірних) фактів, даних і суджень конкретному ОІ.

Завдання ідентифікації об’єкта полягає у визначенні типу (категорії) ОІ шляхом установлення відповідності значень показників з *апостеріорної множини ознак* (4.2) із умістом *апріорної множини ознак* (4.1) в умовах апріорної невизначеності про ОІ в контрольованому районі, помилок вихідних даних, високої динамічності й нестандартності зміни зовнішньої обстановки, а також значної надмірності різнорідної інформації для ідентифікації. Надалі інформація ідентифікації використовується для формування загальної обстановки в контрольованому районі, прогнозування динаміки наступних дій ОІ й зміни ситуації в цілому.

4.2. КОНЦЕПЦІЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ САМООРГАНІЗАЦІЇ

Представлену задачу ідентифікації можна зобразити графічно у вигляді рис. 4.1. У сформульованій формі ідентифікація становить собою об’єднання різнорідної надлишкової інформації. Її розв’язання ускладнюється значною апріорною й апостеріорною невизначеністю, що дозволяє віднести її до класу некоректних [138]. Традиційне розв’язання завдання ідентифікації базується на висуненні апріорної гіпотези про наявність образу ОІ, що виводить її з розряду некоректних. У формалізованому завданні ідентифікації для відходу від некоректності маємо апріорну множину ознак. Для ідентифікації об’єкта за образом застосовується перебирання можливих варіантів відповідності ознак образу. Таке розв’язання в умовах надмірності інформації й динамічної зміни ситуації призведе до появи ефекту “прокляття розмірності” [144]. Тому подальший хід розв’язання задачі ідентифікації пропонується реалізувати в такому напрямку.

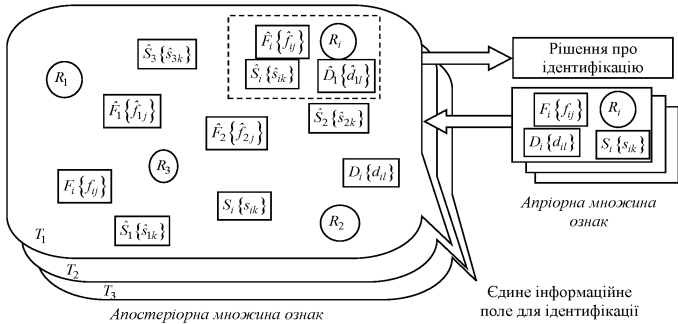


Рис. 4.1

Виходячи із сутності викладених понять ОІ й ознак, що належать до трьох категорій як обмежуюча аксіоматика, можна стверджувати:

Аксіома 1. Из усього поля ОІ й ознак знайдеться вичерпний їхній перелік, що належить до конкретного об'єкта, який можна назвати й описати математично у вигляді множини, групи, фракталу або кластера.

Аксіома 2. Категорії “ОІ – ознака” зв’язані функціонально деяким законом взаємодії через єдність первинних фізичних явищ, характерних для функціонування ОІ, які породжують вторинні явища – ознаки.

Аксіома 3. Розв’язання задачі ідентифікації полягає у виділенні множини, групи (фракталу, кластера) “ОІ – ознаки” на підставі законів взаємодії цих категорій.

Сформульована аксіоматика, хоча і є в деякому сенсі очевидною, однак обмежує наведену вище формалізацію задачі ідентифікації, що буде використано для її розв’язання.

Розв’язувана задача ідентифікації відрізняється від розглянутих раніше подібних задач своєю формалізацією, а також умовами високої динамічності й нестандартності зміни зовнішньої обстановки, значною надмірністю різномірної інформації для ідентифікації. У таких умовах навіть для статичного варіанта пряме перебирання всіх можливих комбінацій (сполучень) відповідності образу 10 ОІ з $k=10$ ознаками за вибіркою з $n=100$ вимірів становитиме $C_n^k = n!/[k!(n-k)!]^{-1} = 17310309 \cdot 10^6$ операцій, на обробку яких буде потрібно близько 3 хвилин роботи сучасної обчислювальної техніки. Реальні ситуації найчастіше мають більшу розмірність щодо кількості ОІ, а також за значеннями k й n , причому вибірка вимірів динамічно оновлюється із часом, що в сукупності може

привести до катастрофічного збільшення часу на реалізацію процесу ідентифікації.

Вихід із подібної ситуації може бути знайдений у використанні синергетичних підходів самоорганізації складних систем [58, 73, 138, 140].

4.2.1. Самоорганізація для розв'язання задач ідентифікації

Основною властивістю самоорганізованих систем є їхнє самовільне упорядкування, утворення та еволюція просторових і часових структур. Самоорганізація у фізичному світі широко поширена й спостерігається практично у всіх явищах макро- і мікросвіту. Прикладом самоорганізованих процесів є біологічні, фізичні, хімічні і соціальні процеси. Самоорганізація виникає в системах і процесах, що володіють рядом властивостей [58, 73, 138, 140]:

система або процес повинні бути *відкритими*, тобто обмінюватися з навколишнім середовищем, наприклад енергією, інформацією, матерією тощо;

розглянута система (процес) повинна бути *нерівноваженою*, тобто не перебувати в стані максимальної дезорганізації без здатності до самоорганізації;

необхідне виникнення й посилення в системі (процесі) *флуктуацій*, що порушують поточний стан і породжують процеси самоорганізації;

у системі (у процесі, що перебігає) має *бути присутнім позитивний зворотний зв'язок* (зміни, викликані середовищем, накопичуються в системі (у процесі) і підсилюються нею);

самоорганізація може початися тільки в системі (процесі), що *володіє достатньою (критичною) кількістю взаємодіючих елементів*.

Отже, для використання методів теорії самоорганізації необхідно оцінити наведену вище формалізацію задачі ідентифікації на наявність у неї ознак, характерних для самоорганізованих систем і процесів. Інтерпретацію задачі ідентифікації з виділенням складових елементів, інформаційних процесів їх взаємодії, взаємозв'язку із зовнішнім середовищем презентовано у вигляді структурної схеми системи й процесів ідентифікації на рис. 4.2.

Елементами системи ідентифікації є: різнорідні ОІ, а також технічні засоби вимірювання (ТЗВ) параметрів фізичних хвиль, випромінюваних об'єктами; працюючі на них оператори автоматизованих робочих місць (АРМ); апіорні й апостеріорні множини ознак. Прийняті в процесі формалізації задачі ідентифікації умови високої динамічності й нестандартності зміни зовнішньої обстановки, значної надмірності різнорідної інформації для ідентифікації дозволяють стверджувати про відповідність системи ідентифікації та процесів, що у ній відбуваються, вимозі наявності *критичної кількості взаємодіючих елементів*.

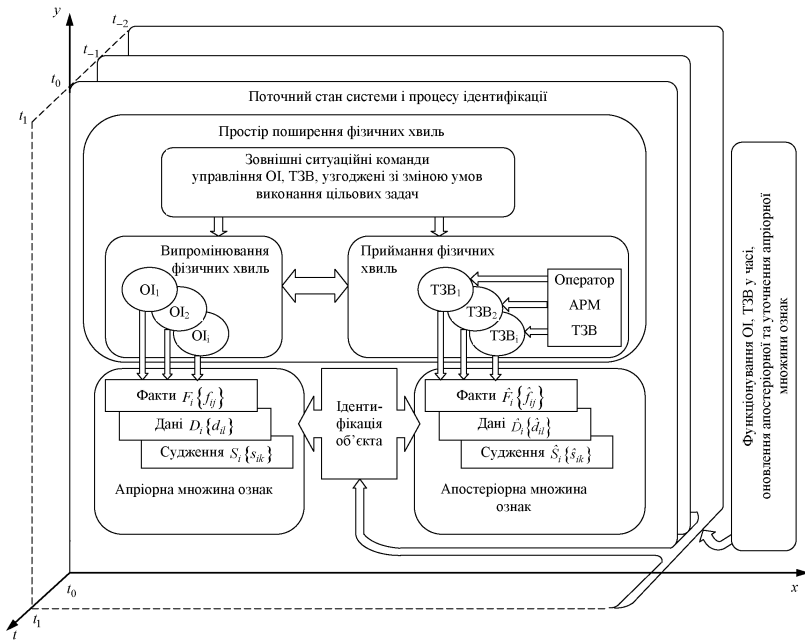


Рис. 4.2

У системі ідентифікації *перебігають процеси*: зовнішнього ситуаційного управління ОІ, ТЗВ, відповідно до зміни умов виконання цільових задач; зміни просторового положення й складу ОІ, ТЗВ, із часом зі зміною зовнішньої обстановки для ефективного виконання цільових задач; випромінювання й приймання фізичних хвиль; функціонування ОІ, ТЗВ, операторів АРМ; одержання апостеріорної множини фактів, даних, суджень, їх оновлення (уточнення) із часом. Зазначені процеси протікають і взаємодіють у фізичному координатно-часовому просторі, а також у віртуальному інформаційному просторі, породжуваному процесами функціонування ОІ, ТЗВ, операторів АРМ. Зміни в зазначених просторових категоріях під дією зовнішніх факторів призводять в остаточному підсумку до ітераційної зміни інформаційних процесів ідентифікації об'єктів, що відповідає властивості *відкритих систем (процесів) із наявністю позитивного зворотного зв'язку*.

Флуктуаційними процесами, що породжують самоорганізацію системи ідентифікації, можна вважати одержання й оновлення (уточнення) із часом апостеріорної множини фактів, даних, суджень.

Властивість *нерівноваженості* системи ідентифікації й процесів, що у ній перебігають, підтверджується наявністю апріорної множини ознак – високоорганізованого прототипу системи, до якої має прямувати поточний стан системи, заданий апостеріорною множиною ознак.

Таким чином, формалізована форма задачі ідентифікації, представлена у вигляді системи й процесів ідентифікації, відповідає всім властивостям самоорганізації. Самоорганізація технічних систем та процесів, що у них перебігають, можлива на основі розроблених для них математичних моделей самоорганізації. Мірою організованості системи є ентропія, яка зменшується зі збільшенням рівня організації системи [58, 138, 140].

З усього різноманіття поглядів на поняття й визначення самоорганізації до розв'язуваної задачі ідентифікації будемо застосовувати узагальнене поняття самоорганізованої системи як такої, що володіє здатністю функціонувати в умовах інформаційної невизначеності і в якій перебігають процеси навчання, адаптації та самоорганізації. Причому рівень самоорганізації – вища страта розвитку системи – містить у собі нижчі страсти – навчання й адаптації [73].

Тоді задачі ідентифікації можна відобразити в термінах синергетики так. Маємо систему великої розмірності з високим рівнем ентропії, яка характеризується апостеріорною множиною ознак (*вихідна система*). Необхідно створити математичну модель її самоорганізації, наближаючи до прототипу з меншою ентропією, обумовленою апріорною множиною ознак (*кінцева система*).

Наступним кроком у розробці концепції ідентифікації на основі

самоорганізації є створення власне математичної моделі функціонування системи й процесів ідентифікації із властивостями самоорганізації. Обумовленим при цьому є послідовний опис процесів навчання, адаптації й, відповідно, самоорганізації в моделі роботи системи ідентифікації.

4.2.2. Розробка математичної моделі ідентифікації на основі самоорганізації

Створення математичної моделі ідентифікації на основі самоорганізації пропонується реалізувати послідовно при розгляді кожного етапу функціонування системи – навчання, адаптація, самоорганізація.

Процес навчання системи ідентифікації полягає в апіорному зборі, обробці й узагальненні інформації для *формування апіорної множини ознак* (4.1). Дана множина формується або за даними про технічні характеристики ОІ, як результат аналізу відповідної технічної документації на них, або як результат обробки накопичених інформаційних масивів, отриманих у процесі функціонування системи (результат обробки й перевірки достовірності апостеріорних вибірок ознак). Апіорна множина ознак зберігається в базі даних, яка ітераційно поповнюється й уточнюється.

Властивість *адаптації* системи ідентифікації виявляється після етапу навчання, коли база даних апіорної множини ознак задовольняє встановлені вимоги щодо достовірності й повноти. Адаптація системи реалізується після одержання на момент часу t_0 вибірки апостеріорної множини ознак (4.2). Властивість адаптації забезпечується алгоритмом ідентифікації, який є основою моделі самоорганізації системи. Адаптація полягає в можливості пристосування системи ідентифікації до складу, точніших характеристик ознак апостеріорної множини для моменту часу t_0 за невідомого складу ОІ для конкретного обмеженого координатно-часового простору. Результати етапу адаптації накопичуються в поточній базі даних для наступної модифікації й уточнення змісту бази даних множини апіорних ознак.

Властивість *самоорганізації* – вища страта функціонування системи – містить у собі страти навчання й адаптації, реалізовані послідовністю операцій, що становлять модель самоорганізації системи ідентифікації.

Вихідною інформацією для ідентифікації є апіорна вибірка ознак (4.1) для моменту часу t_0 , представлена у вигляді табл. 4.1. У ній категорія «факти» представлена в розгорнутому вигляді, аналогічно можна розписати й інші підмножини даних і суджень.

Передбачається, що тим або іншим способом (шляхом вимірювання або експертного оцінювання) кожній ознаці встановлена у відповідність її числова міра.

Апріорна множина ознак

Ознаки	Об'єкти ідентифікації							
	R_1		R_2		R_i		R_n	
F	F_1	f_{11}	F_2	f_{21}	F_i	f_{i1}	F_n	f_{n1}
		f_{12}		f_{22}		f_{i2}		f_{n2}
		f_{1j}		f_{2j}		f_{ij}		f_{nj}
		f_{1m_1}		f_{2m_2}		f_{im_i}		f_{nm_n}
D	$D_1 \{d_{1L_1}\}$		$D_2 \{d_{2L_2}\}$		$D_i \{d_{iL_i}\}$		$D_n \{d_{nL_n}\}$	
S	$S_1 \{s_{1K_1}\}$		$S_2 \{s_{2K_2}\}$		$S_i \{s_{iK_i}\}$		$S_n \{s_{nK_n}\}$	

Табл. 4.1 можна модифікувати, одержавши для кожної i -ї ознаки монотонний спадний або зростаючий ряд. У результаті маємо перемішування індексів ОІ, ознак (табл. 4.2) із ключем початкової їхньої належності (див. табл. 4.1).

Аналогічної операції зазнає апостеріорна множина ознак (4.2), у результаті чого одержимо модифіковану таблицю, наприклад у вигляді табл. 4.3.

Таблиця 4.2

Модифікована апріорна множина ознак

Ознаки	Об'єкти ідентифікації							
	R_1		R_2		R_i		R_n	
F	F_1	f_{n1}	F_2	f_{21}	F_i	f_{i1}	F_n	f_{11}
		f_{12}		f_{i2}		f_{22}		f_{n2}
		f_{ij}		f_{nj}		f_{1j}		f_{2j}
		f_{2m_2}		f_{im_i}		f_{nm_n}		f_{im_i}
D	$D_1 \{d_{1L_1}\}$		$D_2 \{d_{2L_2}\}$		$D_i \{d_{iL_i}\}$		$D_n \{d_{nL_n}\}$	
S	$S_1 \{s_{1K_1}\}$		$S_2 \{s_{2K_2}\}$		$S_i \{s_{iK_i}\}$		$S_n \{s_{nK_n}\}$	

Таблиця 4.3

Модифікована апостеріорна множина ознак

Ознаки	Об'єкти ідентифікації							
	R_{x_1}		R_{x_2}		R_{x_i}		R_{x_n}	
F	\hat{F}_1	\hat{f}_{21}	\hat{F}_2	\hat{f}_{n1}	\hat{F}_i	\hat{f}_{i1}	\hat{F}_n	\hat{f}_{11}
		\hat{f}_{n2}		\hat{f}_{i2}		\hat{f}_{22}		\hat{f}_{n2}
		\hat{f}_{nj}		\hat{f}_{ij}		\hat{f}_{1j}		\hat{f}_{2j}
		\hat{f}_{2m_2}		\hat{f}_{im_i}		\hat{f}_{im_i}		\hat{f}_{im_i}
D	$\hat{D}_1 \{\hat{d}_{1L_1}\}$		$\hat{D}_2 \{\hat{d}_{2L_2}\}$		$\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}$		$\hat{D}_n \{\hat{d}_{nL_n}\}$	
S	$\hat{S}_1 \{\hat{s}_{1K_1}\}$		$\hat{S}_2 \{\hat{s}_{2K_2}\}$		$\hat{S}_i \{\hat{s}_{iK_i}\}$		$\hat{S}_n \{\hat{s}_{nK_n}\}$	

Для табл. 4.3 невідомими є індекси ОІ – x_n із належністю до них значень ознак трьох категорій, а також їх комбінація. Групування ознак до ОІ є ключовим завданням ідентифікації на основі самоорганізації.

Монотонність модифікованих дискретних рядів апіорних (табл. 4.2) і апостеріорних (табл. 4.3) множин ознак дозволяє провести поліноміальне їхнє згладжування, наприклад із використанням класичного методу найменших квадратів (МНК) [61]. Результатом згладжування є аналогічні поліноміальні моделі зміни значення кожної конкретної i -ї ознаки в групі (факти, дані, судження) у полі i -х ОІ виду:

для апіорних множин ознак (апіорні моделі):

$$\begin{aligned} f_j(N) &= f_0 + f_1N + f_2N^2 + \dots, & d_i(N) &= d_0 + d_1N + d_2N^2 + \dots, \\ s_k(N) &= s_0 + s_1N + s_2N^2 + \dots, \end{aligned} \quad (4.3)$$

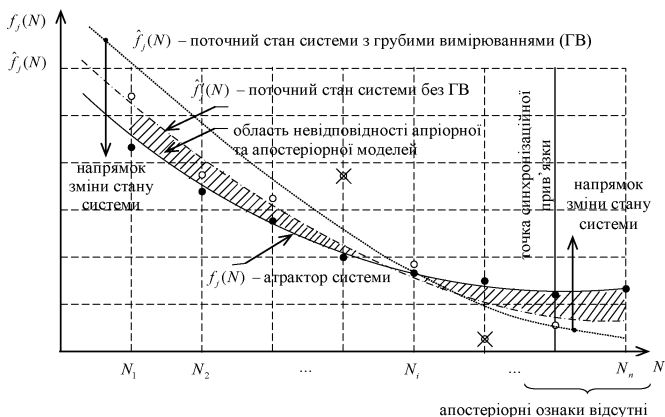
для апостеріорних множин ознак (апостеріорні моделі):

$$\begin{aligned} \hat{f}_j(N) &= \hat{f}_0 + \hat{f}_1N + \hat{f}_2N^2 + \dots, & \hat{d}_i(N) &= \hat{d}_0 + \hat{d}_1N + \hat{d}_2N^2 + \dots, \\ \hat{s}_k(N) &= \hat{s}_0 + \hat{s}_1N + \hat{s}_2N^2 + \dots. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Аргументом N є абстрактний аналоговий процес, описуваний у дискретній формі рівнодискретним рядом чисел (сіткою вимірів – $N = 1, 2, 3, \dots$) та інтерпретований за своїми значеннями для кожного реального індексу вихідних множин (4.1), (4.2). У загальному випадку об'єм вибірок апіорних та апостеріорних множин може не збігатися (див. табл. 4.2, 4.3). Але на етапі згладжування й одержання поліноміальних моделей (4.3), (4.4) слід провести синхронізацію сіток вимірів для кожної ознаки апіорної й апостеріорної множин. Це реалізується за декількома контрольними точками найближчих поточних значень ознак f_{im_i} і \hat{f}_{im_i} (див. рис. 4.3).

По суті така операція вже встановлює відповідність значень апостеріорних ознак у кожній категорії апіорних із відомою належністю других до конкретного ОІ. При цьому моделі (4.3) і (4.4) повинні повністю збігатися, що для запропонованого підходу є ознакою ідентифікації об'єктів. Однак задача ідентифікації ще не є розв'язаною, оскільки апостеріорна комбінація груп ознак для кожного ОІ не знайдена, та й апостеріорна вибірка ознак повинна зазнати більш ретельного аналізу й обробки.

Суть апіорної множини ознак (даних табл. 4.3) полягає в їхньому експериментальному характері – вимірювання, одержувані об'єктивно з використанням технічних засобів або суб'єктивно у вигляді усереднених суджень оператора відповідної системи керування.



- – виміряні значення ознак апостеріорної множини із випадковими похибками;
- ⊗ – виміряні значення ознак апостеріорної множини з грубими похибками вимірювань;
- – значення ознак апріорної множини.

Рис. 4.3

Отже, для апріорної множини ознак характерна поява: випадкових похибок (ВП) вимірювань (до них належать і флуктуації нечітких даних); грубих помилок вимірювань (аномальних викидів (вимірювань), явних промахів у судженнях, а також оцінок і вимірювань, які належать до ОІ, що не входить до переліку апріорної множини ознак). Зазначені причини безсумнівно приводять до розбіжності моделей (4.3) і (4.4). Тоді, позбувшись грубих вимірювань (ГВ) і зменшивши ВП, можна одержати апостеріорну вибірку за кожною ознакою із прив'язкою до конкретного ОІ. При цьому будемо спостерігати наближення моделі (4.4) до моделі (4.3). З погляду синергетики описане явище становить собою наближення стану системи ідентифікації, описуване моделлю (4.4), за рівнем своєї організації до атрактора системи [97] із більш високим рівнем організації, яка описується моделлю (4.3). При цьому ентропія кінцевої системи ідентифікації зменшується стосовно вихідної.

Реалізувати описаний процес пропонується в такий спосіб. Вибірка вимірювань апостеріорної множини ознак зазнає попередньої обробки з метою виявлення грубих вимірювань. Для цього будемо використовувати апробований рекурентний алгоритм виявлення аномальних вимірювань, заснований на аналізі динаміки зміни апроксимуючої моделі [65].

Виявлення ГВ реалізується шляхом аналізу значення коефіцієнта «старіння» інформації невідповідності, що змінюється із проявом невідповідності динаміки зміни прийнятих поліноміальних моделей (4.4) реальній апостеріорній монотонній вибірці ознак (табл. 4.3). Оптимальне, за мінімумом суми динамічної й флуктуаційної похибок оцінювання експериментальних даних, значення коефіцієнта старіння S_{st}^{opt} визначається відповідно до емпіричного рівняння:

$$(S_{st}^{opt} + 4)(S_{st}^{opt} - 1)^5 - A_N^2(S_{st}^{opt} + 4)^4 = 0, \quad (4.5)$$

де $A_N^2 = \Delta t \alpha_N^2 \sigma^{-2}$ – інтенсивність динаміки зміни значень апостеріорних ознак; $\alpha_N^2 = \vartheta_N - \vartheta_{N-1}$ – швидкість зміни ознак; σ^2 – дисперсія вимірювання значень ознак; Δt – період відновлення інформації. Для розв’язання рівняння (4.5) використовується метод дихотомії. Ознакою ГВ є вихід за встановлені в разі відсутності грубих вимірювань межі пошуку розв’язку рівняння (4.5) – коефіцієнта старіння S_{st}^{opt} . Гранічні значення встановлюються для кожного типу моделей, наприклад для квадратичного полінома вони мають значення $0 - 1$ [65].

Виявлені ГВ видаляються з вибірки вимірювань апостеріорних ознак і накопичуються в базі даних нових ОІ для можливого використання на етапі навчання системи ідентифікації. Вільна від ГВ вибірка є експериментальною основою для формування поліноміальних моделей виду:

$$\begin{aligned} \hat{f}_j'(N) &= \hat{f}_0' + \hat{f}_1'N + \hat{f}_2'N^2 + \dots, \hat{d}_l'(N) = \hat{d}_0' + \hat{d}_1'N + \hat{d}_2'N^2 + \dots, \\ \hat{s}_k'(N) &= \hat{s}_0' + \hat{s}_1'N + \hat{s}_2'N^2 + \dots \end{aligned} \quad (4.6)$$

Надалі необхідно оцінити попарно схожість (близькість) модельних функцій: $f_j(N)$ і $\hat{f}_j(N)$, $f_j(N)$ і $\hat{f}_j'(N)$ на обмеженому інтервалі ознак з аналогічним повторенням цих процедур для категорій даних і суджень. Реалізувати оцінювання ступеня схожості моделей, що описують зміну апріорних і апостеріорних множин ознак, пропонується шляхом розрахунків і оцінювання величини квадрата відхилю площ фігур (КВПФ), обмежених кривими $f_j(N)$, $\hat{f}_j(N)$, $\hat{f}_j'(N)$ (див. рис. 4.3). Отже, можна записати

$$\delta = \left[\int_{N_1}^{N_n} f_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}_j(N) dN \right]^2, \quad \delta' = \left[\int_{N_1}^{N_n} f_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}_j'(N) dN \right]^2. \quad (4.7)$$

Параметр (4.7) обраний для використання, насамперед, завдяки урахуванню в ньому множинного відношення наявних апріорних та отриманих апостеріорних ознак ідентифікації у вигляді єдиної числової міри

різниці площ. Квадратична форма застосована для урахування додатних і від'ємних знаків у різниці площ площинних фігур під розглянутими кривими.

Ознакою досягнення необхідного рівня організованості системи ідентифікації є факт виконання нерівності

$$\max \delta < (\delta' < \delta) < \min \delta. \quad (4.8)$$

Внутрішня нерівність ($\delta' < \delta$) характеризує еволюцію системи й буде виконана в ході реалізації правильної селекції ГВ, тобто прийнята правильна гіпотеза про належність значень апостеріорної множини ознак ідентифікованому об'єкту. Виконання зовнішньої нерівності $\max \delta < (...) < \min \delta$ характеризує досягнення необхідного рівня організованості системи ідентифікації. Значення $\max \delta$ визначається для конкретних умов розв'язання задачі в разі наявності в експериментальній вибірці ВП, а також 50% і більше ГВ. Значення $\min \delta$ визначається тільки за наявності ВП.

Використання параметрів (4.7) і модельне представлення множин ознак у вигляді (4.3), (4.4), (4.6) мають ряд переваг: ідентифікація може проводитися за різного складу даних апіорних ознак і вимірювань апостеріорної множини; межі інтегрування дозволяють обмежувати й конкретизувати задачі ідентифікації із прив'язкою до конкретної вибірки апостеріорних ознак; зберігання ознак ОІ у вигляді моделей дозволяє зменшити об'єм відповідної бази даних і заощаджувати ресурси обчислювальних засобів; модельне представлення множин ознак має прогностичні властивості, які можуть використовуватися для формування нових знань про ОІ, у тому числі з використанням накопиченої інформації про ГВ для навчання системи ідентифікації; можливе попереднє формування й збереження апіорних моделей ознак (до цільового використання системи ідентифікації), що зменшує розмірність задачі ідентифікації в цілому й кількість обчислень на етапі практичного використання системи, що зводиться до формування апостеріорних моделей і порівняння їх з апіорними.

Для розширення розрахункових можливостей використання виразів (4.7) для широкого класу нелінійних модельних функцій $f_j(N)$, $\hat{f}_j(N)$, $\hat{f}'_j(N)$, а також із метою зменшення кількості необхідних операцій для обчислення інтегралів із використанням обчислювальної техніки застосований метод диференціальних перетворень [122, 123].

Диференціальні перетворення в загальному випадку – це функціональні перетворення виду:

$$Z(k) = P\{z(N)\}_{N^*} = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k z(N)}{dt^k} \right]_{N^*}, \quad (4.9)$$

$$z(N) = f(N, c), \quad (4.10)$$

де N^* – значення аргументу, за якого проводиться перетворення; $Z(k)$ – дискретна функція аргументу $k=0,1,2,\dots$; H – відрізок аргументу, на якому розглядається функція $z(N)$; $f(N, c)$ – функція, що відновлює; c – сукупність вільних коефіцієнтів функції, що c_i відновлює.

Вираз (4.9) забезпечує одержання за оригіналом $z(N)$ його зображення $Z(k)$ (пряме перетворення). Зворотнє перетворення (4.10) дає можливість відновлення оригіналу $z(t)$ у вигляді функції $f(N, c)$. Диференціальне зображення $Z(k)$ називається диференціальним спектром (ДС), або Р-спектром, а значення $Z(k)$ для конкретних аргументів k – дискретами ДС (Р-дискретами). У найпростішому випадку функція $f(t, c)$ має вигляд багаточлена, а відновлення оригіналу зводиться до підсумовування дискрет Р-спектра у вигляді відрізка ряду Тейлора (основні, або диференціально-тейлорівські (ДТ) перетворення). У розв'язуваній задачі використовуються ДТ-перетворення.

Для одержання Р-моделі обчислення параметрів δ , δ' скористаємося виразом для розрахунків диференціального спектра визначеного інтеграла [123]

$$\int_{N_a}^{N_d} z(N) dN = H \sum_{k=0}^{k=\infty} \left[\left(\frac{N_b}{H} \right)^{k+1} - \left(\frac{N_a}{H} \right)^{k+1} \right] \frac{Z(k)}{k+1}. \quad (4.11)$$

Отже, Р-моделі для обчислення величини КВПФ $-\delta$, δ' мають вигляд:

$$\delta = \left[H \sum_{k=0}^{k=\infty} \left[\left(\frac{N_n}{H} \right)^{k+1} - \left(\frac{N_1}{H} \right)^{k+1} \right] \frac{F(k)}{k+1} - H \sum_{k=0}^{k=\infty} \left[\left(\frac{N_n}{H} \right)^{k+1} - \left(\frac{N_1}{H} \right)^{k+1} \right] \frac{\hat{F}(k)}{k+1} \right]^2, \quad (4.12)$$

$$\delta' = \left[H \sum_{k=0}^{k=\infty} \left[\left(\frac{N_n}{H} \right)^{k+1} - \left(\frac{N_1}{H} \right)^{k+1} \right] \frac{F(k)}{k+1} - H \sum_{k=0}^{k=\infty} \left[\left(\frac{N_n}{H} \right)^{k+1} - \left(\frac{N_1}{H} \right)^{k+1} \right] \frac{\hat{F}'(k)}{k+1} \right]^2, \quad)$$

де інтервал H може бути порівнянний або рівний інтервалу інтегрування $N_1 \dots N_n$; $F(k)$, $\hat{F}(k)$, $\hat{F}'(k)$ – дискрети ДС поліноміальних функцій $f_j(N)$, $\hat{f}_j(N)$, $\hat{f}'_j(N)$, що обчислюються відповідно до виразу [122]:

$$z(N) = c_0 + c_1 N + c_2 N^2 + \dots + c_i N^i + \dots + c_n N^n \Rightarrow Z(k) = \sum_{i=0}^{i=n} c_i H^i u(k-i), \quad (4.13)$$

де $\delta(k)$ – одинична функція (тейлорівська одиниця), що набуває значень одиниці, якщо $k=0$, й нуля, якщо $k \geq 1$; символ \Rightarrow в (4.13) позначає відповідність оригіналу зображенню розглянутої функції.

Алгебраїзація виразів (4.7) до форми Р-моделей (4.12) безсумнівно зменшить кількість необхідних математичних операцій і спростить алгоритм ідентифікації на основі самоорганізації в разі його реалізації на обчислювальних засобах.

Слід зазначити, що процес селекції вимірюваних ознак із контролем умови (4.8) породжує еволюцію системи ідентифікації, що полягає в наближенні функцій поточного стану системи $\hat{f}_j(N), \hat{d}_j(N), \hat{s}_j(N)$ через проміжні стани, описувані моделями $\hat{f}'_j(N), \hat{d}'_j(N), \hat{s}'_j(N)$, до атрактора у вигляді конкретних моделей $f_j(N), d_j(N), s_j(N)$ (рис. 4.3). Цей процес повторюється зі зміною зовнішніх умов ідентифікації – відновлення або уточнення значень ознак апостеріорної множини із часом, навчання системи ідентифікації і т.д. У такий спосіб досягається самоорганізація системи шляхом приведення вихідного її стану до впорядкованого з меншою ентропією. Свідченням упорядкованості системи ідентифікації є вузлова прив'язка за параметром N ознак апостеріорної множини до конкретного ОІ – R_i . Зіставлення i -х і x_i -х коефіцієнтів при ОІ в табл. 4.2, 4.3 по суті дає частковий розв'язок задачі ідентифікації окремо за кожною категорією й ознакою в ній. Тому далі необхідно перейти до комбінаторної ідентифікації ОІ за сукупністю всіх його ознак. Для цього використовується багатокритерійна модель ідентифікації [112].

Об'єднання ознак здійснюється послідовно в межах категорій і за категоріями. Для цього застосовується технологія вкладених згорток із нелінійною схемою компромісів [35]. Для дискретного опису ознак згортка має вигляд:

$$Y(y_0) = \sum_{f=1}^b \gamma_{0f} (1 - y_{0f})^{-1} \rightarrow \min, \quad (4.14)$$

де $f=1..b$ – кількість включених у згортку ознак; γ_{0f} – нормований ваговий коефіцієнт; y_{0f} – нормована ознака.

За згорткою (4.14) формуються узагальнені ознаки для кожного R_i -го ОІ з апіорної множини ознак P_{Ei} і попередньо ідентифікованих ознак з апостеріорної множини P_i :

$$P_{Ei} = \sum_{j=1}^{m_i} \gamma_{f_{0ij}} [1 - f_{0ij}] J^{-1} + \sum_{l=1}^{L_i} \gamma_{d_{0il}} [1 - d_{0il}] J^{-1} + \sum_{k=1}^{K_i} \gamma_{s_{0ik}} [1 - s_{0ik}] J^{-1}, \quad (4.15)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{m_i} \gamma_{f_{0ij}} [1 - \hat{f}_{0ij}] J^{-1} + \sum_{l=1}^{L_i} \gamma_{d_{0il}} [1 - \hat{d}_{0il}] J^{-1} + \sum_{k=1}^{K_i} \gamma_{s_{0ik}} [1 - \hat{s}_{0ik}] J^{-1}.$$

Нормування ознак здійснюється відносно суми значень за всіма ОІ. Числові значення ступеня відповідності ОІ його узагальненим даним апіорної множини ознак розраховуються згідно з виразами

$$\Omega_1 = \frac{P_1}{P_{E1}}, \Omega_2 = \frac{P_2}{P_{E2}}, \dots, \Omega_i = \frac{P_i}{P_{Ei}}, \dots, \Omega_n = \frac{P_n}{P_{En}}. \quad (4.16)$$

Рішення про ідентифікацію об'єкта приймається в разі виконання умови $\Omega_i > 0,5$, що забезпечує спільне групове врахування ознак.

У результаті одержимо впорядковану апостеріорну множину ознак із належністю кожного її елемента конкретному об'єкту

$$W = \left\{ \hat{F}_i \{ \hat{f}_{ij} \}, \hat{D}_i \{ \hat{d}_{il} \}, \hat{S}_i \{ \hat{s}_{ik} \} \right\} = R_i, \quad (4.17)$$

при цьому ентропія кінцевої системи й процесу ідентифікації зменшується (див. пояснення рис. 4.1, 4.2).

Описані дії повторюються із часом для уточнення або відновлення апостеріорної множини ознак (4.2). Послідовне формування й використання виразів (4.3) – (4.6), (4.8), (4.12), (4.13), (4.15) – (4.17) становить собою самоорганізовану математичну модель ідентифікації, що володіє властивостями впорядкування утворення та еволюції структур: об'єкти ідентифікації – апостеріорні ознаки.

Таким чином, *концепцію ідентифікації на основі самоорганізації* можна представити послідовністю етапів структурної схеми, зображеної на рис. 4.4.

До реалізації процесу ідентифікації передбачається наявність заповненої бази даних апіорної інформації про можливі ОІ та їх ознаки – атрактор системи. Процес ідентифікації починається з одержання на момент часу t_0 апостеріорної множини ознак про ОІ в межах контрольованого району. Апіорні й апостеріорні ознаки зазнають далі модифікації до одержання монотонних рядів (див. табл. 4.2, 4.3) з наступною синхронізацією вибірок (див. рис. 4.3). Апостеріорні вибірки ознак підлягають попередній обробці з метою виявлення ГВ відповідно до рівняння (4.5). Отримані синхронізовані й вільні від ГВ вибірки апроксимуються з використанням МНК, у результаті чого формуються моделі виду (4.3), (4.4), (4.6), а з них – диференціальні спектри відповідно до (4.13). Після розрахунків величин КВПФδ, δ' перевіряється виконання умови (4.8) і реалізується формування узагальнених ознак для ідентифікації ОІ згідно зі співвідношенням (4.15).

У разі виконанні для узагальнених ознак умови $\Omega_i > 0,5$ для конкретного ОІ задача ідентифікації є розв'язаною. А якщо ні, то приймається рішення про виявлення нового об'єкта з переліком ознак, що є вихідною інформацією для поповнення відповідної бази даних. Перевірка умови $\Omega_i > 0,5$ реалізується для всієї множини можливих для ідентифікації об'єктів, для яких отримані узагальнені ознаки Ω_i . На наступний момент часу $t > t_0$ всі описані етапи концепції ідентифікації повторюються.

4.2.3. Приклад використання математичної моделі ідентифікації на основі самоорганізації

Розрахунковий приклад для перевірки працездатності викладеного підходу полягав ось у чому. Нехай для деякого ОІ з відомою апіорною множиною ознак у вигляді даних $D_i \{d_{iL_i}\}_1$ отримана апостеріорна множина $\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_4$, модифікована до зростаючого ряду (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Модифіковані апіорні та апостеріорні множини ознак

Ознаки		Об'єкти ідентифікації									
		R_{x_1}	R_{x_2}	R_{x_3}	R_{x_4}	R_{x_5}	R_{x_6}	R_{x_7}	R_{x_8}	R_{x_9}	$R_{x_{10}}$
1	$D_i \{d_{iL_i}\}_1$	1,20	2,40	4,50	6,00	8,00	10,00	12,00	13,60	17,20	20,60
2	$D_i \{d_{iL_i}\}_{S2}$	1,35	2,65	4,14	5,83	7,72	9,80	12,08	14,56	17,23	20,10
3	$\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_3$	1,20	2,40	4,50	6,00	9,20	10,00	12,00	13,60	17,20	20,60
4	$\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_4$	1,61	2,72	4,86	5,73	8,73	10,22	11,76	13,85	16,86	20,81
5	$\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_{S5}$	1,75	2,98	4,41	6,05	7,88	9,92	12,16	14,60	17,25	20,09
6	$\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}^r\}_{S6}$	1,81	2,91	4,25	5,83	7,64	9,68	11,96	14,48	17,23	20,21

У прикладі вибірка апостеріорних ознак містить тільки одне грубе вимірювання, що не належить до ОІ – для R_{x_3} . Розглянутий випадок із тривіальним розв'язком дозволяє чітко оцінити працездатність запропонованого підходу до ідентифікації. У табл. 3 прийняті позначення: $D_i \{d_{iL_i}\}_{S2}$ – оцінки апіорних даних, отримані в разі використання апіорних моделей, побудованих за вибіркою $D_i \{d_{iL_i}\}_1$; вважаються відомими ідеальні (без випадкових похибок вимірювань) елементи апостеріорних множин ознак $\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_3$; $\hat{D}_i \{\hat{d}_{iL_i}\}_4$ – зашумлені похибками вимірювань із

нормальним законом розподілу, нульовим середнім і з дисперсією, що дорівнює 0,2 од., елементи апостеріорної множини ознак; $\hat{D}_1\{\hat{d}_{IL_i}\}_{S5}$ – оцінки елементів апостеріорної множини ознак, отримані в разі використання апостеріорних моделей із повною вибіркою вимірювань; $\hat{D}'_1\{\hat{d}'_{IL_i}\}_{S6}$ – оцінки елементів апостеріорної множини ознак, отримані в разі використання апостеріорних моделей за вільною від ГВ вибіркою. Виявлення ГВ проведене з використанням рівняння (4.5).

За вибіркою $D_1\{d_{IL_i}\}_1$ з використанням МНК отримані апріорні моделі виду

$$d(N) = 0,2517 + 1,00039N + 0,0981N^2. \quad (4.18)$$

Аналогічним способом за повною вибіркою $\hat{D}_1\{\hat{d}_{IL_i}\}_4$ отримана апостеріорна модель

$$\hat{d}_1(N) = 0,7297 + 0,9257N + 0,1011N^2, \quad (4.19)$$

а за вибіркою без ГВ модель виду

$$d'(N) = 0,9471 + 0,7512N + 0,1176N^2. \quad (4.20)$$

Порівняння моделі (4.18) з (4.19) і (4.20) згідно з виразами (4.12) дозволяє одержати величини квадрата відхилення площ фігур, обмежених ними: $\delta = 2,0451$; $\delta' = 0,0592$. Отримані значення свідчать принаймні про виконання внутрішньої нерівності (4.8). Отже, для розглянутого спрощеного прикладу елементи апостеріорної множини $\hat{D}_1\{\hat{d}_{IL_i}\}_3$ можна прийняти належними до ОІ, крім R_{x_2} . Елементарна операція зіставлення номерів апріорної й апостеріорної множин до їхньої трансформації в монотонний ряд для ОІ R_i й R_{x_i} тут також не наводиться. Таким чином, можна стверджувати про зменшення ентропії вихідного стану системи (взаємозв'язки ОІ – ознака), яка характеризується апостеріорною множиною ознак $\hat{D}_1\{\hat{d}_{IL_i}\}_4$. Отже, розглянутий приклад наочно демонструє реалізованість процесу ідентифікації на основі самоорганізації. При цьому відмітні положення запропонованого підходу підтверджуються на практиці.

Оцінюючи затрачений час на одержання результату ідентифікації відповідно до запропонованого підходу, слід зазначити таке. Розрахунки здійснювалися за кількістю операцій множення, додавання й ділення в матричних операціях для одержання апроксимуючих моделей за МНК і допоміжних дій відповідно до етапів запропонованої концепції ідентифікації

(див. рис. 4.4). Вихідні дані використовувалися ті ж, що й для оцінювання складності методів прямого перебирання: 10 ОІ з $k=10$ ознаками за вибіркою з $n=100$ вимірів. Результати розрахунків навіть для сторазового повторення етапу одержання апіорних моделей становили 48888400 обчислювальних операцій із відпрацюванням їх за 10^{-5} с машинного часу сучасного обчислювального пристрою. Отже, запропонований підхід дозволяє уникнути “прокляття розмірності”, характерного для традиційного розв’язання задач ідентифікації в умовах значної динамічності, апіорної невизначеності й нестандартності зміни зовнішньої обстановки й внутрішніх процесів, а також значної надмірності різномірної (за типом, часом одержання, достовірністю й повнотою) інформації (фактів, даних, суджень).

З урахуванням викладеного й результатів розрахунків можливо сформулювати ряд загальних висновків.

У ході досліджень запропонована концепція ідентифікації на основі самоорганізації, що базується на послідовному формуванні й використанні самоорганізованої математичної моделі ідентифікації, яка володіє властивостями впорядкування утворення та еволюції структур: об’єкти ідентифікації – апостеріорні ознаки. Модельний опис апіорних та апостеріорних множин ознак дозволяє уникнути необхідності комбінаторного перебирання порівнюваних ознак образу з ОІ й забезпечує зниження розмірності розв’язуваної задачі. У такий спосіб досягається властивість самоорганізації в процесі ідентифікації шляхом приведення вихідного стану системи ознак до впорядкованого стану з меншою ентропією. Свідченням упорядкованості системи ідентифікації є прив’язка ознак апостеріорної множини до конкретного ОІ.

У подальших дослідженнях передбачається провести багатомірне згладжування монотонних рядів апіорних та апостеріорних множин ознак із використанням багатомірного МНК. Реалізувати це для довільної вихідної інформації можна, використовуючи як вихідну модель диференціальне рівняння, розв’язком якого є поліноміальний ряд заданого базису. Крім того, слід застосувати абстрактне афінне перетворення вихідних координат у якусь глобально центричну систему, групове, фрактальне або кластерне представлення сукупності ознак окремого ОІ. Це надасть функціональну залежність вимірюваних параметрів для багатомірного МНК, а також вибудовування кореляційного зв’язку вихідних даних у кореляційній матриці МНК оцінок. Кореляційні зв’язки для зрізу дискретності вихідних даних забезпечать можливість спільного аналізу ознак. Крім того, у перспективних дослідженнях можна реалізувати оцінювання ефективності запропонованої концепції ідентифікації за вектором часткових критеріїв.

Розділ 5. БАГАТОВИМІРНЕ ЗГЛАДЖУВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ, КОНТРОЛЬОВАНИХ СКЛАДНИМИ ІНФОРМАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

5.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО БАГАТОВИМІРНЕ ЗГЛАДЖУВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Реалізація комплексу завдань керування в складних технічних системах, дослідження багатьох процесів і явищ природи, а також технічних і технологічних процесів пов'язані з проведенням вимірювань та обробкою одержуваних параметрів. При цьому належні дослідженню (контролю) явища або параметри вивчаються шляхом проведення системи непрямих вимірювань вторинних параметрів. Так, наприклад, координати й параметри руху динамічного об'єкта (ДО) (космічного апарата (КА), повітряного корабля (ПК) тощо) характеризуються трійкою координат і швидкостей їх зміни в обраній системі вимірювань. При цьому координати ДО визначаються за результатами вимірювань параметрів первинних або перевипромінених радіосигналів, прийнятих радіотехнічними станціями пасивної або активної локації. Надалі ці величини різними каналними пристроями радіотехнічних засобів приймаються, обробляються, формуються первинні значення координат, які окремо обробляються (згладжуються) для формування вичерпної картини про поведінку ДО у просторі.

Ключовий фактор у цьому процесі полягає в окремому розгляді кожного вимірюваного параметра, який характеризує заздалегідь єдиний об'єкт дослідження. Можливо припустити, що спільна обробка вимірюваних параметрів, які характеризують досліджуваний об'єкт, дасть позитивний ефект у зменшенні помилок оцінювання як за точковими, так і за інтервальними характеристиками точності.

У статистиці характеристика спільного аналізу декількох випадкових величин (процесів) (контрольованих величин із випадковими помилками вимірів) відображається кореляційною залежністю (змішаний центральний момент другого порядку) – коефіцієнтом кореляції, який разом із квадратом середньоквадратичних відхилень помилок вимірювань контрольованих параметрів (дисперсія помилок випадкових величин – центральний момент другого порядку) становлять кореляційну матрицю

помилку виміру контрольованих параметрів. Отже, врахування взаємозв'язку параметрів руху досліджуваного об'єкта на рівні ймовірнісних характеристик можливий у разі одержання повної (з ненульовими значеннями недиагональних елементів – коефіцієнтів кореляції) кореляційної матриці помилок оцінювання. Це, у свою чергу, вимагає наявності підходу до спільної обробки параметрів досліджуваних процесів – багатовимірних алгоритмів згладжування.

На сьогоднішній день відомі кілька алгоритмів спільного згладжування параметрів досліджуваних процесів – рекурентний алгоритм згладжування у вигляді багатовимірного фільтра Калмана (ФК) [66, 75, 96] і метод найменших квадратів (МНК) із кратними вузлами [61, 131].

Багатовимірне згладжування з використанням ФК реалізується шляхом розширення використовуваних у ньому матриць до блоково-діагонального виду [96]. У МНК із кратними вузлами, де фактично реалізується спільне згладжування координати і її похідних вищих порядків, використовується наявність однозначного взаємозв'язку між вимірюваними координатами і її похідними. Інтерес становить одержання багатовимірного МНК, як найбільш високоточного алгоритму згладжування накопиченої вибірки вимірів [53]. При цьому труднощі його формування відомим підходом (використання блоково-діагональних матриць) обумовлені одержанням системи рівнянь, сформованої для знаходження коефіцієнтів апроксимуючих поліномів, із недостатньою кількістю незалежних рівнянь, що призводить до виродженої матриці шуканих коефіцієнтів і неможливості їх розрахунків [70].

Таким чином, метою досліджень, наведених у даному розділі, є розробка методики багатовимірного згладжування стохастичних процесів із використанням методу найменших квадратів.

5.2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАВДАННЯ БАГАТОВИМІРНОГО ЗГЛАДЖУВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Нехай із використанням певного класу радіотехнічних засобів отримані вибірки вимірювання координат ДО, наприклад КА, і швидкості їх вимірювання у вигляді:

$$\begin{aligned} r &= \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_i, \dots, r_n\}, \varepsilon = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_i, \dots, \varepsilon_n\}, \\ \beta &= \{\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_i, \dots, \beta_n\}, \dot{r} = \{\dot{r}_1, \dot{r}_2, \dot{r}_3, \dots, \dot{r}_i, \dots, \dot{r}_n\}, \\ \dot{\beta} &= \{\dot{\beta}_1, \dot{\beta}_2, \dot{\beta}_3, \dots, \dot{\beta}_i, \dots, \dot{\beta}_n\}, \end{aligned} \quad (5.1)$$

де r , ε , β – вибірки вимірів r_i , ε_i , β_i – радіальної дальності, азимута й кута місця КА в просторі з їхньою зміною в дискретні моменти часу

$i = 1..n$; \dot{r} , \ddot{r} – вибірки вимірів \dot{r}_i , \ddot{r}_i швидкості й прискорення за радіальною дальністю відповідно.

Вибірki вимірів (5.1) характеризують траєкторію руху КА в топоцентричній полярній (пунктовій, радіолокаційній) системі координат (РЛСК) і становлять собою параметричну (за типом вимірюваних координат і швидкостей їх зміни), а також тимчасову (за часовим параметром i) надмірності вихідних даних. Суть вихідних вибірок – експериментальні дані, що представляються надалі адитивною моделлю корисної й випадкової складових із нульовим середнім й дисперсією, яка визначається потенційною точністю вимірника (радіотехнічного засобу відомого класу).

Необхідно реалізувати спільне (багатовимірне) згладжування експериментальних вибірок (5.1), що характеризують траєкторію руху КА з урахуванням параметричної й часової надмірностей із використанням МНК.

5.3. РЕАЛІЗАЦІЯ БАГАТОВИМІРНОГО ЗГЛАДЖУВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ, КОНТРОЛЬОВАНИХ СКЛАДНИМИ ІНФОРМАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

Зміну координат КА в просторі у РЛСК можливо спрощено представити поліноміальними моделями виду:

$$\begin{aligned} r(t) &= r_0 + r_1 t + r_2 t^2 + \dots, \quad \varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 t + \varepsilon_2 t^2 + \dots, \\ \beta(t) &= \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \dots, \quad \dot{r}(t) = \frac{dr(t)}{dt} = r_1 + 2r_2 t + \dots, \\ \dot{\varepsilon}(t) &= \frac{d\varepsilon(t)}{dt} = \varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 t + \dots, \quad \dot{\beta}(t) = \frac{d\beta(t)}{dt} = \beta_1 + 2\beta_2 t + \dots \end{aligned} \quad (5.2)$$

де r_0 , ε_0 , β_0 , r_1 , ε_1 , β_1 , r_2 , ε_2 , β_2 , ... – координата, швидкість зміни й прискорення за відповідними параметрами траєкторії руху ДО.

Аналогічно можливо продовжити формування моделей зміни положення КА у просторі за відповідними похідними вищих порядків.

Для реалізації процесу спільного згладжування вимірюваних параметрів руху ДО з використанням МНК необхідно визначити їхній функціональний взаємозв'язок як величин, що характеризують єдиний об'єкт досліджень. Такий взаємозв'язок можливо відобразити шляхом пошуку складних математичних залежностей, що зв'язують фізичні процеси генерації радіосигналів, поширення радіохвиль, приймання й обробки їх у спеціалізованих радіотехнічних системах для визначення первинних параметрів сигналів і координат ДО [125]. Реалізувати значно простіше процес одержання функціональних взаємозв'язків координат ДО пропонується з використанням властивостей афінних відображень у частині,

що стосується збереження параметрів і властивостей траєкторії руху динамічного об'єкта незалежно від перетворення координатного простору, що характеризує її параметри [53, 70]. Так взаємозв'язок параметрів (5.1) і моделей (5.2) можна знайти шляхом їхнього перетворення із РЛСК у геоцентричну абсолютну систему координат (ГАСК) (див. рис. 5.1).

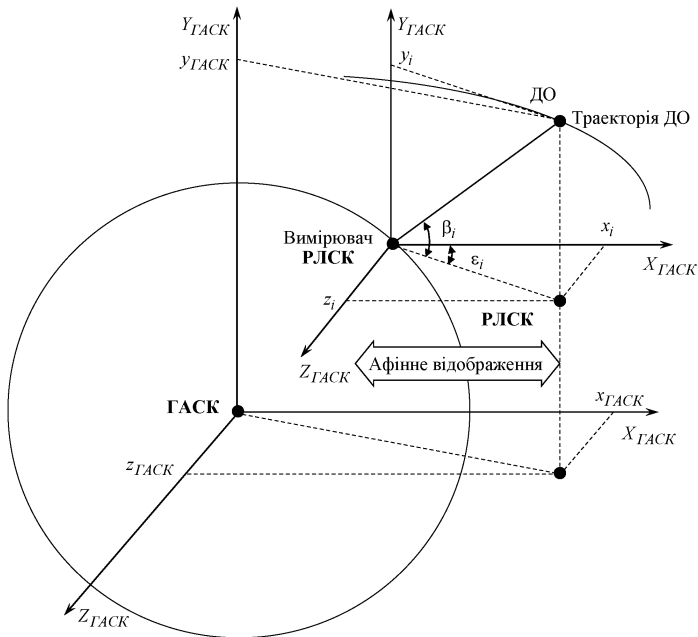


Рис. 5.1

Таке перетворення реалізується згідно з послідовністю, зазначеною у вигляді схеми рис. 5.2, де позначено: МСК – місцева (топоцентрична декартова) система координат; ГВСК – геоцентрична відносна система координат [53].

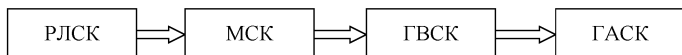


Рис. 5.2

Операції рис. 5.2 забезпечуються формуванням і використанням матриць перетворення, що в аналітичному вигляді характеризується виразом [14]

$$\bar{B}_{ГАСК} = F_{ГАСК} [F_{ГВСК} [F_{МСК} \bar{A}_{РЛСК}]], \quad (5.3)$$

де $\bar{A}_{РЛСК}$ – вектор обмірюваних миттєвих координат ДО й швидкостей їх зміни (базова шістка параметрів) у РЛСК; $\bar{B}_{ГАСК}$ – вектор координат ДО й швидкостей їх зміни в ГАСК; $F_{ГАСК}$, $F_{ГВСК}$, $F_{МСК}$ – матриці перетворення відповідних координат, форма яких відома й широко застосовується [53].

Вираз (5.3) справедливий також і для перетворення моделей (5.2). Тоді в результаті застосування перетворення (5.3) до моделей (5.2) отримаємо однозначний взаємозв'язок вимірюваних параметрів у ГАСК виду:

$$\begin{aligned} x(t) &= f_x(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, \dots), & y(t) &= f_y(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, \dots), \\ z(t) &= f_z(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, \dots), & \dot{x}(t) &= f_{\dot{x}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, \dots), \\ \dot{y}(t) &= f_{\dot{y}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, \dots), & \dot{z}(t) &= f_{\dot{z}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, \dots). \end{aligned} \quad (5.4)$$

Отримані в такий спосіб залежності (5.4) мають складний нелінійний характер із більшою кількістю вкладених трансцендентних операцій. Для спрощення їх наступного аналізу й використання застосуємо до них диференціально-тейлорівські перетворення (ДТП), що забезпечить одержання поліноміальної форми без втрати основної, для розглядуваної задачі властивості – функціональної залежності вимірюваних координат.

Диференціальні перетворення [121] – це операційний метод, розроблений академіком НАН України Г. Є. Пуховим, заснований на переводі оригіналів в область зображень із використанням операції диференціювання. Диференціальні перетворення в загальному випадку – це функціональні перетворення виду:

$$Z(K) = P\{z(t)\}_{t^*} = \frac{H^K}{K!} \left[\frac{d^K z(t)}{dt^K} \right]_{t^*}, \quad (5.5)$$

$$z(t) = f(t, c), \quad (5.6)$$

де t^* – значення аргументу, за якого проводиться перетворення; $Z(K)$ – дискретна функція цілочислового аргументу $K = 0, 1, 2, \dots$; H – відрізок аргументу, на якому розглядається функція $z(t)$; $f(t, c)$ – відновлююча або апроксимуюча функція; c – сукупність вільних коефіцієнтів c_i .

Вираз (5.5) визначає пряме перетворення, що дозволяє за оригіналом $z(t)$ знайти зображення $Z(K)$. Зворотнє перетворення, що відновлює оригінал $z(t)$ у вигляді апроксимуючої функції, визначається виразом (5.6).

Диференціальне зображення $Z(K)$ називається диференціальним спектром (ДС), а значення функції $Z(K)$ при відповідних значеннях аргументу K – дискретами диференціального спектра.

У найпростішому випадку відновлююча функція $f(t, c)$ має вигляд багаточлена й завдання відновлення оригіналу зводиться до підсумовування дискрет ДС у вигляді відрізка ряду Тейлора. Диференціальні перетворення в цьому випадку називаються диференціально-тейлорівськими [121].

Застосовуючи ДТП (5.5), (5.6) до трансцендентних залежностей (5.4), отримаємо поліноміальні форми виду:

$$\begin{aligned} x(t) &= K_{0x} + K_{1x}t + K_{2x}t^2 + \dots, y(t) = K_{0y} + K_{1y}t + K_{2y}t^2 + \dots, \\ z(t) &= K_{0z} + K_{1z}t + K_{2z}t^2 + \dots, \dot{x}(t) = K_{0\dot{x}} + K_{1\dot{x}}t + K_{2\dot{x}}t^2 + \dots, \\ \dot{y}(t) &= K_{0\dot{y}} + K_{1\dot{y}}t + K_{2\dot{y}}t^2 + \dots, \dot{z}(t) = K_{0\dot{z}} + K_{1\dot{z}}t + K_{2\dot{z}}t^2 + \dots \end{aligned} \quad (5.7)$$

У виразах (5.7) коефіцієнти поліномів (дискрети ДС моделей (5.4)) характеризують миттєве значення координати, швидкостей їх зміни й прискорення відповідно за кожною координатою, що характеризує положення КА в ГАСК. Разом з тим отримані коефіцієнти полінома мають однозначну функціональну залежність із вимірюваними координатами ДО в РЛСК, а саме:

$$\begin{aligned} K_{0x} &= f_{0x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0), K_{1x} = f_{1x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, \eta_1, \varepsilon_1, \beta_1), \\ K_{2x} &= f_{2x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, \eta_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2), K_{0\dot{x}} = f_{0\dot{x}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, \eta_1, \varepsilon_1, \beta_1), \\ K_{1\dot{x}} &= f_{1\dot{x}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, \eta_1, \varepsilon_1, \beta_1), K_{2\dot{x}} = f_{2\dot{x}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, \eta_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2). \end{aligned} \quad (5.8)$$

Аналогічну форму залежності вимірних координат у РЛСК мають коефіцієнти поліномів (5.7) для координат ДО в ГАСК і їх похідних за $y(t)$, $z(t)$, $\dot{y}(t)$, $\dot{z}(t)$. Питання формування залежності координат ДО в ГАСК від вимірних координат крім властивостей відображення (5.3) визначається формою представлення вихідних даних (миттєві значення координат (5.1) або аналогові моделі (5.2)) та обумовлює порядок поліноміальних форм (5.7), а також залежностей (5.8). Надалі цю обставину слід урахувувати під час формування матриць МНК для реалізації спільного згладжування вимірних експериментальних вибірок. Деякі закономірності цього процесу відображені в табл. 5.1. Дані табл. 5.1 наведені для однієї координати, але слушні й для інших параметрів, що характеризують положення ДО у просторі.

Таким чином, у разі одержання аналітичних залежностей виду (5.7) необхідно враховувати сукупність вихідних (вимірних) даних (5.1) для формування моделей (5.2) і проведення перетворень (5.3) – (5.8) з метою спільного згладжування координат.

Трансформації для одержання матриць МНК

Спосіб опису вихідних даних			
Вектор миттєвих координат ДО $r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1$ або вибірки їх вимірів $r_{0i}, \varepsilon_{0i}, \beta_{0i}, r_{1i}, \varepsilon_{1i}, \beta_{1i}$		Моделі зміни координат ДО $r(t) = r_0 + r_1 t + r_2 t^2, \varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 t + \varepsilon_2 t^2,$ $\beta(t) = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2, \dot{r}(t) = r_1 + 2r_2 t,$ $\dot{\varepsilon}(t) = \varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 t, \dot{\beta}(t) = \beta_1 + 2\beta_2 t.$	
Трансформація залежностей після афінного відображення координат			
$x(t) = f_x(r_0, \varepsilon_0, \beta_0), y(t) = f_y(r_0, \varepsilon_0, \beta_0),$ $z(t) = f_z(r_0, \varepsilon_0, \beta_0),$ $\dot{x}(t) = f_{\dot{x}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1),$ $\dot{y}(t) = f_{\dot{y}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1),$ $\dot{z}(t) = f_{\dot{z}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1).$		$x(t) = f_x(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2),$ $y(t) = f_y(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2),$ $z(t) = f_z(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2),$ $\dot{x}(t) = f_{\dot{x}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2),$ $\dot{y}(t) = f_{\dot{y}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2),$ $\dot{z}(t) = f_{\dot{z}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2).$	
Трансформація залежностей після застосування диференціальних перетворень			
$x(t):$	$K_{0x} = f_{0x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0),$ $K_{1x} = f_{1x}(\dots) = 0,$ $K_{2x} = f_{2x}(\dots) = 0,$ $K_{3x} = f_{3x}(\dots) = 0, \dots$	$x(t):$	$K_{0x} = f_{0x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0),$ $K_{1x} = f_{1x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1),$ $K_{2x} = f_{2x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2),$ $K_{3x} = f_{3x}(\dots) = 0, \dots$
$\dot{x}(t):$	$K_{0\dot{x}} = f_{0\dot{x}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1),$ $K_{1\dot{x}} = f_{1\dot{x}}(\dots) = 0,$ $K_{2\dot{x}} = f_{2\dot{x}}(\dots) = 0,$ $K_{3\dot{x}} = f_{3\dot{x}}(\dots) = 0, \dots$	$\dot{x}(t):$	$K_{0\dot{x}} = f_{0\dot{x}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1),$ $K_{1\dot{x}} = f_{1\dot{x}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1),$ $K_{2\dot{x}} = f_{2\dot{x}}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2),$ $K_{3\dot{x}} = f_{3\dot{x}}(\dots) = 0, \dots$
Тенденція залежностей для $y(t), \dot{y}(t),$ $z(t), \dot{z}(t)$ аналогічно наведеним		Тенденція залежностей для $y(t), \dot{y}(t), z(t), \dot{z}(t)$ аналогічно наведеним	

По суті завдання спільного згладжування вимірних параметрів звелося до МНК апроксимації із кратними й (або) трикратними вузлами [131]. Продемонструвати це можливо при формуванні матриць методу найменших квадратів на прикладі трикратних вузлів у такий спосіб. У загальному випадку алгоритм МНК із трикратними вузлами можна представити в матричній формі [61]:

$$B = Q^{1/2} \Phi, \hat{R} = B^T R B, \quad (5.9)$$

$$\hat{K} = \hat{R}^{-1} B^T (Q^{1/2} \Omega \bar{K}), \hat{X} = F \hat{K}.$$

Матриці алгоритму МНК у формі (5.9) мають нижченаведені назви й розмірності для експериментальних вибірок з n вимірів і поліномів m -го

ступеня з урахуванням перетворень вихідних параметрів (5.1) або у формі (5.2) до виду (5.7): $\hat{K}[m \times 1]$ – вектор коефіцієнтів полінома, що згладжує, виду (5.7); $F[n \times m]$ – матриця значень базисних функцій для координати; $\hat{X}[n \times 1]$ – вектор згладжених (оцінок) параметрів траєкторії ДО в ГАСК; $\bar{K}[3n \times 1]$ – вектор вимірів координати і її похідних у ГАСК; $\Phi[3n \times m]$ – матриця значень базисних функцій для координати і її похідних; $Q[3n \times 3n]$ – вагова матриця для координати і її похідних; $R[m \times m]$ – кореляційна матриця похибок (КМП) визначення координат ДО в ГАСК, пов'язаних із вимірюваними параметрами у РЛСК у вигляді (5.8); $\hat{R}[m \times m]$ – кореляційна матриця похибок оцінювання координат ДО в ГАСК; $\Omega[3n \times 3n]$ – коригувальна матриця; $B[3n \times m]$ – матриця зважених значень базисних функцій координати і її похідних.

Зазначені матриці в загальному вигляді з урахуванням перетворень вихідних даних (5.1), (5.2) до виду (5.7) формуються в такий спосіб:

$$\bar{K} = \begin{pmatrix} K_{0X_1} & K_{1X_1} & K_{2X_1} & K_{0X_2} & K_{1X_2} & K_{2X_2} & \dots \\ \dots & K_{0X_n} & K_{1X_n} & K_{2X_n} & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}^T, \hat{K} = (\hat{K}_0 \hat{K}_1 \hat{K}_2 \dots \hat{K}_m)^T,$$

$$\hat{X} = (\hat{X}_1 \hat{X}_2 \dots \hat{X}_n)^T,$$

$$R = \begin{pmatrix} \sigma_{K_0}^2 & \rho_{K_0 K_1} & \dots & \rho_{K_0 K_m} \\ \rho_{K_1 K_0} & \sigma_{K_1}^2 & \dots & \rho_{K_1 K_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{K_m K_0} & \rho_{K_m K_1} & \dots & \sigma_{K_m}^2 \end{pmatrix}, \hat{R} = \begin{pmatrix} \sigma_{\hat{K}_0}^2 & \rho_{\hat{K}_0 \hat{K}_1} & \dots & \rho_{\hat{K}_0 \hat{K}_m} \\ \rho_{\hat{K}_1 \hat{K}_0} & \sigma_{\hat{K}_1}^2 & \dots & \rho_{\hat{K}_1 \hat{K}_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{\hat{K}_m \hat{K}_0} & \rho_{\hat{K}_m \hat{K}_1} & \dots & \sigma_{\hat{K}_m}^2 \end{pmatrix}, \quad (5.10)$$

$$F = \begin{pmatrix} \varphi_0(x_1) & \varphi_1(x_1) & \dots & \varphi_m(x_1) \\ \varphi_0(x_2) & \varphi_1(x_2) & \dots & \varphi_m(x_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi_0(x_n) & \varphi_1(x_n) & \dots & \varphi_m(x_n) \end{pmatrix}, \Phi = \begin{pmatrix} \varphi_1(x_1) & \varphi_2(x_1) & \dots & \varphi_m(x_1) \\ \varphi_1'(x_1) & \varphi_2'(x_1) & \dots & \varphi_m'(x_1) \\ \varphi_1''(x_1) & \varphi_2''(x_1) & \dots & \varphi_m''(x_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi_1(x_1) & \varphi_2(x_1) & \dots & \varphi_m(x_1) \\ \varphi_1'(x_1) & \varphi_2'(x_1) & \dots & \varphi_m'(x_1) \\ \varphi_1''(x_1) & \varphi_2''(x_1) & \dots & \varphi_m''(x_1) \end{pmatrix},$$

$$Q = \begin{pmatrix} q_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q'_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q''_1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & q_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & q'_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & q''_n \end{pmatrix}, \quad \Omega = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Omega_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Omega_1^2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \Omega_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \Omega_n^2 \end{pmatrix}.$$

У (5.10) позначення $q_i = 1/\sigma_{K_{0x_i}}^2$, $q'_i = 1/\sigma_{\dot{K}_{0x_i}}^2$, $q''_i = 1/\sigma_{\ddot{K}_{0x_i}}^2$ характеризують величини, обернено пропорційні дисперсіям вимірювання відповідних координат і її похідних, а параметр Ω_i дорівнює часовому інтервалу одержання вимірів швидкості й прискорення за координатою T_0 , параметр x_i становить собою оцифровку елементів експериментальної вибірки рівнодискретної послідовності – сіткою вимірів для масштабування й часової прив'язки за аргументом апроксимуючих поліномів виду (5.7). У разі необхідності одержання крім оцінок координати її похідних слід замінити матрицю базисних функцій F її розширеним аналогом Φ . Визначення базисних функцій для координати $\varphi_m(x_i)$ і її похідних $\varphi'_m(x_i)$, $\varphi''_m(x_i)$ реалізується з умови їх взаємної (у межах однойменного параметра) ортогональності у вигляді згладженої функції поліноміальною формою на базі степеневого ряду на симетричній сітці вимірів:

$$\begin{aligned} \varphi_0(x_i) &= 1, \varphi_1(x_i) = x_i, \varphi_2(x_i) = x_i^2, \quad 2, \varphi_3(x_i) = x_i^3, \quad \mu\alpha_i, \\ \varphi'_0(x_i) &= 0, \varphi'_1(x_i) = 1, \varphi'_2(x_i) = 2x_i, \quad \varphi'_3(x_i) = 3x_i^2, \quad \mu, \\ \varphi''_0(x_i) &= 0, \varphi''_1(x_i) = 0, \varphi''_2(x_i) = 0, \quad \varphi''_3(x_i) = 6x_i, \quad \mu = \frac{34q_i + 30q'_i}{10q_i + 5q''_i}, \end{aligned} \quad (5.11)$$

і для несиметричної сітки вимірів

$$\begin{aligned} \phi_0(x_i) &= 1, \phi'_0(x_i) = 0, \phi''_0(x_i) = 0, \phi_1(x_i) = x_i + 2, \phi'_1(x_i) = 1, \\ \phi''_1(x_i) &= 0, \phi_2(x_i) = x_i^2 - \alpha(x_i + 2) - 2, \\ \phi'_2(x_i) &= 2x_i - \alpha; \phi''_2(x_i) = 2, \phi_3(x_i) = x_i^3 - \\ &- M_2(x_i^2 - \alpha(x_i + 2) - 2) - M_1(x_i + 2) + 20, \\ \phi'_3(x_i) &= 3x_i - 2M_2x_i - K_2\alpha - M_1, \phi''_3(x_i) = 6x_i - 2M_2, \end{aligned} \quad (5.12)$$

$$\alpha = \frac{-40q_i + 19q_i'}{10q_i + 5q_i'}, \quad M_1 = \frac{154q_i + 90q_i'}{10q_i + 5q_i'},$$

$$M_2 = \frac{(-110 - 154\alpha)q_i + (-467 - 72\alpha)q_i' - 120q_i''}{(254 + 10\alpha^2)q_i + (117 - 4\alpha^2)q_i' + 20q_i''}.$$

Розрахунки КМП визначення координат ДО в ГАСК реалізується за вихідною КМП виміру координат ДО в РЛСК – $R_{РЛСК}$. Вихідна матриця формується діагональною за відомою інформацією про потенційну точність вимірника координат ДО. Далі використовуються властивості афінного відображення координат ДО із РЛСК у ГАСК (перерахування схеми рис. 5.2) для одержання R в ГАСК згідно із виразом [9]:

$$R = J_{ГАСК}^T \left[J_{ГВСК}^T \left[J_{МСК}^T R_{РЛСК} J_{МСК} \right] J_{ГВСК} \right] J_{ГАСК}, \quad (5.13)$$

де $J_{МСК} = \left(\frac{\bar{B}_{МСК}}{\bar{A}_{РЛСК}} \right)$, $J_{ГВСК} = \left(\frac{\bar{B}_{ГВСК}}{\bar{B}_{МСК}} \right)$, $J_{ГАСК} = \left(\frac{\bar{B}_{ГАСК}}{\bar{B}_{ГВСК}} \right)$ – матриці

Якобі, складені з якобіанів перетворення вихідного вектора із РЛСК у ГАСК із проміжними перетвореннями згідно зі схемою рис. 5.2 у вектори координат ДО в МСК – $\bar{B}_{МСК}$ і ГВСК – $\bar{B}_{ГВСК}$; $R_{РЛСК} = \text{diag}(\sigma_r^2, \sigma_\varepsilon^2, \sigma_\beta^2, \sigma_r^2, \sigma_\varepsilon^2, \sigma_\beta^2)$ – діагональна матриця дисперсій похибок вимірювань відповідних координат і швидкостей їх зміни.

Формування вектора вимірів координати і її похідних у ГАСК \bar{K} реалізується шляхом перерахування отриманих експериментальних вибірок координат ДО (5.1) у ГВСК згідно зі схемою рис. 5.2.

Сформовані з використанням (5.11) – (5.13) матриці (5.10) алгоритму МНК (5.9) дозволяють отримати поліноміальні моделі виду (5.7), оцінку координати ДО й швидкостей їх зміни в ГАСК із урахуванням вимірів координат і швидкостей об'єкта спостереження в РЛСК. Іншими словами, слід врахувати одночасно параметричну й тимчасову надмірність вихідних даних в оцінці окремої координати і її похідних. Механізм урахування часової і параметричної надмірностей полягає в суті сформованих виразів (5.8) для моделей (5.7), де у формі функцій з розділеними змінними отримані однозначні функціональні залежності оцінюваних координат від вимірюваних параметрів. Форма залежностей може регулюватися адаптивно до сукупності вихідних даних відповідно до закономірностей табл. 5.1.

Застосування розглянутої послідовності дій, що приводять до багатовимірною згладжування на базі МНК, має кілька методологічних особливостей для його практичного використання:

у вимірах контрольованих параметрів як мінімум повинна бути повна трійка, яка визначає початковий метричний простір параметрів, наприклад трійка координат ДО в РЛСК тощо;

використання вимірів швидкостей зміни координат можливе як самостійними вибірками, так і в складі поліноміальних моделей, що описують зміну координат відповідно до закономірностей табл. 5.1.

Зазначені особливості обумовлені, насамперед, реалізованістю афінних відображень первинних (виміряних) параметрів в обраний метричний простір, їх не слід розглядати як недоліки, оскільки саме для спільного багатовимірного згладжування інформаційних даних і розроблявся розглянутий підхід.

Запропонований підхід до багатовимірного згладжування стохастичних процесів із використанням МНК може бути застосований до широкого кола прикладних галузей науки й техніки, пов'язаних із вимірюванням, оцінюванням і прогнозуванням змінних у часі взаємозалежних процесів, наприклад контроль зміни параметрів радіовипромінювань, частоти появи контрольованих подій, динаміки розвитку інформаційного контенту, конфліктних ситуацій і т.д. Конкретика області застосування розглянутого підходу конкретизує суть афінних відображень вихідного вектора стану контрольованого об'єкта (процесу) (див. рис. 5.1) у допоміжні метричні (у тому числі й абстрактні) простори станів. Безсумнівно, це приведе до уточнення схеми перетворення рис. 5.2 і наповненню складових матриць перерахування у виразах (5.3), (5.13). При цьому суть технологічного процесу багатовимірного згладжування стохастичних процесів із використанням МНК залишиться незмінною.

Слід докладно розглянути порядок одержання кінцевого результату від використання матричної форми МНК (5.9) із формуванням використовуваних при цьому матриць (5.10) – (5.12), з урахуванням (5.1) – (5.8).

Результатом використання запропонованого підходу є модель зміни обраної координати, оцінки поточних її значень і похідних вищих порядків у ГАСК. Послідовне застосування МНК із зазначеними модифікаціями для кожної координати дають повний вектор параметрів на деякий момент часу t_0 – вектор оцінок параметрів траєкторії ДО

$\hat{B}_{ГАСК} = (\hat{X}_0 \hat{X}_1 \hat{Y}_0 \hat{Y}_1 \hat{Z}_0 \hat{Z}_1)^T$ (5.14) і моделі їх зміни в ГАСК (5.15):

$$\begin{aligned} \hat{K}_{0x} &= f_{0x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0) = \hat{X}_0, \hat{K}_{1x} = f_{1x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1) = \hat{X}_1, \\ \hat{K}_{2x} &= f_{2x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2), \dots, \\ \hat{K}_{mx} &= f_{2x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2), \hat{K}_{0y} = f_{0y}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0) = \hat{Y}_0, \\ \hat{K}_{1y} &= f_{1y}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1) = \hat{Y}_1, \end{aligned} \quad (5.14)$$

$$\begin{aligned}
\hat{K}_{2y} &= f_{2y}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2), \dots, \\
\hat{K}_{my} &= f_{2y}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2), \hat{K}_{0z} = f_{0z}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0) = \hat{Z}_0, \\
\hat{K}_{1z} &= f_{1z}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1) = \hat{Z}_1, \\
\hat{K}_{2z} &= f_{2z}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2), \dots, \\
\hat{K}_{mz} &= f_{2z}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1, r_2, \varepsilon_2, \beta_2), \\
\hat{x}(t) &= \hat{K}_{0x} + \hat{K}_{1x}t + \hat{K}_{2x}t^2 + \dots, \hat{y}(t) = \hat{K}_{0y} + \hat{K}_{1y}t + \hat{K}_{2y}t^2 + \dots, \\
\hat{z}(t) &= \hat{K}_{0z} + \hat{K}_{1z}t + \hat{K}_{2z}t^2 + \dots, \hat{\dot{x}}(t) = \hat{K}_{1x} + 2\hat{K}_{2x}t + \dots, \\
\hat{\dot{y}}(t) &= \hat{K}_{1y} + 2\hat{K}_{2y}t + \dots, \hat{\dot{z}}(t) = \hat{K}_{1z} + 2\hat{K}_{2z}t + \dots
\end{aligned} \tag{5.15}$$

Отриманий вектор оцінок параметрів руху ДО в ГАСК є універсальним, з погляду його наступного використання без необхідності прив'язки до вимірювального пункту. Однак у ряді практичних випадків необхідно мати оцінки координат і швидкості їх зміни в первинній пунктової польярній системі координат у вигляді вектора оцінок параметрів $\hat{A}_{PLCK} = (\hat{r}_0 \hat{r}_1 \hat{\varepsilon}_0 \hat{\varepsilon}_1 \hat{\beta}_0 \hat{\beta}_1)^T$. Для одержання оцінок вектора параметрів ДО в РЛСК за їхніми оцінками у ГАСК можна застосувати зворотний перехід у координатних перетвореннях (зворотну схему рис. 5.2) або розв'язати утворену з оцінок (5.14) систему рівнянь щодо шуканих параметрів руху ДО в РЛСК виду:

$$\begin{cases} \hat{K}_{0x} = f_{0x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0), \hat{K}_{1x} = f_{1x}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1), \\ \hat{K}_{0y} = f_{0y}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0), \hat{K}_{1y} = f_{1y}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1), \\ \hat{K}_{0z} = f_{0z}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0), \hat{K}_{1z} = f_{1z}(r_0, \varepsilon_0, \beta_0, r_1, \varepsilon_1, \beta_1). \end{cases} \tag{5.16}$$

Вибір для використання перерахування координат або розв'язку системи рівнянь (5.16) повинен опиратися на склад вимірювальної інформації для кожного конкретного практичного випадку з урахуванням його до оперативності й точності одержання вектора оцінок параметрів траєкторії руху ДО в ГАСК. Дана обставина не розглядається й вимагає додаткових досліджень.

Точковими характеристиками вектора оцінок $\hat{B}_{ГАСК}$ за стохастичною складовою є КМП оцінювання, що послідовно розраховуються для кожної координати $-\hat{R}_x, \hat{R}_y, \hat{R}_z$ і одержуються при використанні другого матричного виразу в алгоритмі МНК (5.9). Їхнє компонування має вигляд, наведений у формулах (5.10). Із КМП оцінювання координат ДО можна скласти діагональну кореляційну матрицю похибок, що характеризує

статистичну (для моменту часу t_0) інтервальну точність оцінювання положення об'єкта спостереження в просторі:

$$R_{Stat} = \text{diag}(\sigma_x^2 \sigma_y^2 \sigma_z^2). \quad (5.17)$$

Одержання оцінок координат ДО з використанням багатовимірною згладжування відбувається з одночасним врахуванням параметричної й часової надмірності вимірюваних координат. Отже, точкові характеристики одержуваних оцінок із використанням запропонованого підходу потенційно вищі, ніж традиційне оцінювання накопичених вибірок вимірів окремо за кожною координатою.

Інтервальна точність оцінювання параметрів динаміки зміни досліджуваного процесу (руху ДО, параметрів складної системи, розвитку контрольованої ситуації) характеризується узагальненим КМП оцінювання параметрів динаміки руху ДО – R_{Din} . Визначення узагальненої КМП пропонується реалізувати шляхом перемножування кореляційних матриць помилок оцінювання кожної координати

$$R_{Din} = \hat{R}_x \times \hat{R}_y \times \hat{R}_z. \quad (5.18)$$

Компоненти R_{Din} характеризують помилки оцінювання параметрів динаміки зміни положення ДО в просторі за осями ξ, ψ, η системи координат, пов'язаної з ГАСК. Значення елементів матриці R_{Din} розраховуються з використанням виразів (5.19), а сутність перетворення (5.18) схематично пояснюється рис. 5.3:

$$R_{Din} = \begin{pmatrix} \sigma_\zeta^2 & \rho_{\zeta\psi} & \rho_{\zeta\eta} \\ \rho_{\psi\zeta} & \sigma_\psi^2 & \rho_{\psi\eta} \\ \rho_{\eta\zeta} & \rho_{\eta\psi} & \sigma_\eta^2 \end{pmatrix},$$

$$\sigma_\zeta^2 = (\sigma_x^2 \sigma_y^2 + \rho_{xx} \rho_{yy} + \rho_{xx} \rho_{yy}) \sigma_z^2 + (\sigma_x^2 \rho_{yy} + \rho_{xx} \sigma_y^2 + \rho_{xx} \rho_{yy}) \rho_{zz} + (\sigma_x^2 \rho_{yy} + \rho_{xx} \rho_{yy} + \rho_{xx} \sigma_y^2) \rho_{zz}, \quad (5.19)$$

$$\sigma_\psi^2 = (\rho_{xx} \sigma_y^2 + \sigma_x^2 \rho_{yy} + \rho_{xx} \rho_{yy}) \rho_{zz} + (\rho_{xx} \rho_{yy} + \sigma_x^2 \sigma_y^2 + \rho_{xx} \rho_{yy}) \rho_{zz}^2 + (\rho_{xx} \rho_{yy} + \sigma_x^2 \rho_{yy} + \rho_{xx} \sigma_y^2) \rho_{zz},$$

$$\sigma_\eta^2 = (\rho_{xx} \sigma_y^2 + \rho_{xx} \rho_{yy} + \sigma_x^2 \rho_{yy}) \rho_{zz} + (\rho_{xx} \rho_{yy} + \rho_{xx} \sigma_y^2 + \sigma_y^2 \rho_{yy}) \rho_{zz} + (\rho_{xx} \rho_{yy} + \rho_{xx} \rho_{yy} + \sigma_x^2 \sigma_y^2) \sigma_z^2,$$

$$\begin{aligned} \rho_{\zeta\psi} &= \left(\sigma_x^2 \sigma_y^2 + \rho_{xx} \rho_{yy} + \rho_{xx} \rho_{yy} \right) \rho_{zz} + \left(\sigma_x^2 \rho_{yy} + \rho_{xx} \sigma_y^2 + \rho_{xx} \rho_{yy} \right) \sigma_z^2 + \\ &+ \left(\sigma_x^2 \rho_{yy} + \rho_{xx} \rho_{yy} + \rho_{xx} \sigma_y^2 \right) \rho_{zz}, \\ \rho_{\zeta\eta} &= \left(\sigma_x^2 \sigma_y^2 + \rho_{xx} \rho_{yy} + \rho_{xx} \rho_{yy} \right) \rho_{zz} + \left(\sigma_x^2 \rho_{yy} + \rho_{xx} \sigma_y^2 + \rho_{xx} \rho_{yy} \right) \rho_{zz} + \\ &+ \left(\sigma_x^2 \rho_{yy} + \rho_{xx} \rho_{yy} + \rho_{xx} \sigma_y^2 \right) \sigma_z^2, \\ \rho_{\psi\eta} &= \left(\rho_{xx} \sigma_y^2 + \sigma_x^2 \rho_{yy} + \rho_{xx} \rho_{yy} \right) \rho_{zz} + \left(\rho_{xx} \rho_{yy} + \sigma_x^2 \sigma_y^2 + \rho_{xx} \rho_{yy} \right) \rho_{zz} + \\ &+ \left(\rho_{xx} \rho_{yy} + \sigma_x^2 \rho_{yy} + \rho_{xx} \sigma_y^2 \right) \sigma_z^2. \end{aligned}$$

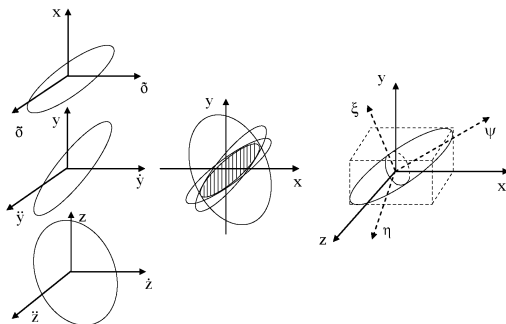


Рис. 5.3

Аналіз виразу (5.19) і рис. 5.3 показує, що фізична сутність координатних осей ξ, ψ, η полягає ось у чому. Вісь ξ – характеризує суперпозицію й узагальнену характеристику дисперсії оцінювання координат ДО в ГАСК σ_{xyz}^2 , ψ – дисперсії оцінювання швидкостей зміни координат ДО в ГАСК $\sigma_{\dot{x}\dot{y}\dot{z}}^2$, η – дисперсії оцінювання прискорень за координатами ДО в ГАСК $\sigma_{\ddot{x}\ddot{y}\ddot{z}}^2$. Переконатися в цьому дозволяють вирази, які можуть бути отримані від перемноження матриці \hat{R}_x у виразі (5.18) самої на себе, й очевидна фізична сутність одержуваного результату – еліпсоїд помилок оцінювання положення ДО за обраною координатою і її похідним.

Інтервальна оцінка точності оцінювання – просторова область зміни динаміки об'єкта спостереження, формування якої здійснюється з урахуванням кореляційної залежності координат ДО дає інтервальний (просто-

ровий) виграш за рахунок зменшення прогнозованого простору стану динамічного процесу. Цей факт спрощує й раціоналізує алгоритм пошуку об'єкта в просторі на рівні зменшення області зондування простору й ураження цілі, варіантів розвитку ситуації для пошуку раціонального розв'язку і т.д.

Параметри еліпсоїда помилок оцінювання параметрів динаміки руху ДО (кути повороту півосей еліпсоїда щодо системи координат $\xi, \psi, \eta - \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ і розміри півосей a, b, c) визначаються згідно з виразами [2]:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 0,5 \arctg \left((2\rho_{\xi\psi} \sigma_\xi \sigma_\psi) / (\sigma_\xi^2 - \sigma_\psi^2) \right), \\ \alpha_2 &= 0,5 \arctg \left((2\rho_{\xi\eta} \sigma_\xi \sigma_\eta) / (\sigma_\xi^2 - \sigma_\eta^2) \right), \\ \alpha_3 &= 0,5 \arctg \left((2\rho_{\psi\eta} \sigma_\psi \sigma_\eta) / (\sigma_\psi^2 - \sigma_\eta^2) \right), \\ a &= \sqrt{\sigma_\xi^2 \cos^2 \alpha_1 + \rho_{\xi\psi} \sigma_\xi \sigma_\psi \sin^2 \alpha_1 + \sigma_\psi^2 \sin^2 \alpha_1}, \\ b &= \sqrt{\sigma_\xi^2 \cos^2 \alpha_2 + \rho_{\xi\eta} \sigma_\xi \sigma_\eta \sin^2 \alpha_2 + \sigma_\eta^2 \sin^2 \alpha_2}, \\ c &= \sqrt{\sigma_\psi^2 \cos^2 \alpha_3 + \rho_{\psi\eta} \sigma_\psi \sigma_\eta \sin^2 \alpha_3 + \sigma_\eta^2 \sin^2 \alpha_3}. \end{aligned} \quad (5.20)$$

Таким чином, результатом виконання зазначених дій є оцінки вектора параметрів траєкторії руху ДО в ГАСК $\hat{\vec{B}}_{ГАСК} = (\hat{X}_0 \hat{X}_1 \hat{Y}_0 \hat{Y}_1 \hat{Z}_0 \hat{Z}_1)^T$, за яким у разі необхідності можна одержати оцінки компонентів вектора $\hat{\vec{A}}_{РДСК} = (\hat{r}_0 \hat{r}_1 \hat{e}_0 \hat{e}_1 \hat{\beta}_0 \hat{\beta}_1)^T$ з використанням одного з вищевикладених підходів. Характеристикою статистичної інтервальної точності оцінювання положення об'єкта спостереження в просторі є КМП R_{Stat} , а динамічної – КМП оцінювання параметрів динаміки руху ДО R_{Dim} . Зазначені дії забезпечують багатовимірне згладжування експериментальних даних із використанням МНК за умови спільного використання всієї наявної вимірювальної інформації про параметри руху ДО в МСК для послідовного одержання оцінок координат об'єкта спостереження в ГАСК або ГВСК.

Практичне використання позитивного ефекту від багатовимірного згладжування вимірюваних вибірок параметрів траєкторії ДО вимагає дослідження залежності просторової орієнтації еліпсоїда помилок оцінювання координат об'єкта спостереження від різних факторів. Можна припустити, що параметри просторового еліпсоїда помилок оцінювання визначаються: величиною кореляційної залежності координат ДО в одиничних вимірах $\rho_{re\beta}$; кутом між площиною траєкторії об'єкта спостереження й напрямком на ДО θ ; часовим інтервалом прогнозу положення ДО в просторі T_p . Дослідження взаємовпливу зазначених факторів про-

виподилося методом імітаційного моделювання в припущенні вимірювання координат ДО зі середньоквадратичними відхиленнями (СКВ) помилок виміру дальності $\sigma_r = 0,02$ км, азимута $\sigma_\varepsilon = 0,005$ рад і кута-місяця $\sigma_\beta = 0,02$ рад. Результати дослідження зображені на рис. 5.4.

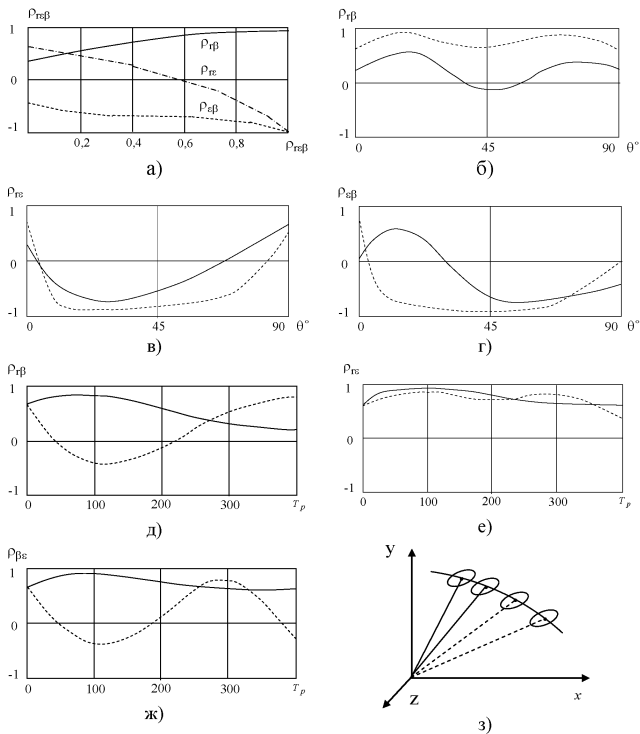


Рис. 5.4

Отримані результати дозволяють дійти висновку про наявність залежності просторової орієнтації еліпсоїда помилок оцінювання координат ДО від усіх зазначених вище параметрів – $\rho_{r\beta}$, θ , T_p . Пояснення такої залежності може бути схематичним рис 5.4, з, де статистична орієнтація еліпсоїда помилок

вимірювань в просторі щодо траєкторії ДО змінюється щодо вимірника координат.

Таким чином, у ході досліджень розглянуте розв'язання задачі багатовимірного згладжування стохастичних процесів, реалізоване з використанням афінних відображень вимірюваних параметрів у багатовимірному методі найменших квадратів. Використання багатовимірного МНК забезпечує спільне використання параметричної й часової надмірності вимірюваних координат. Багатовимірне згладжування дає адекватне уявлення про форму й орієнтацію в просторі еліпсоїда помилок просторового положення ДО. Це приводить до підвищення інтервальної точності оцінювання й пошуку ДО в просторі активними методами вимірювання координат, що припускають зондування простору. Таким чином, багатовимірне згладжування забезпечує: підвищення точкової точності оцінювання за рахунок спільної статистичної обробки параметричної й часової надмірності вимірюваних параметрів руху ДО; підвищення просторової точності оцінювання положення ДО за рахунок одержання адекватної інформації про форму й орієнтації еліпсоїда помилок.

Розділ 6. МЕТОДИЧНЕ ТА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ НЕГАТИВНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ВПЛИВУ

6.1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ НЕГАТИВНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ВПЛИВУ

Умови сьогодення переконливо доводять зростання ролі інформаційної боротьби в реалізації військових цілей. Це, перш за все, обумовлено лавиноподібним розвитком інформаційних технологій за останнє десятиріччя. Так, інформаційний контент певної події в інформаційному просторі миттєво доставляється у трансформованому вигляді до цільової аудиторії будь-якої точки земної кулі без селекції і вибірковості щодо вікових, соціальних, релігійних, психологічних особливостей населення. При цьому розвиток інформаційних технологій аж ніяк не прискорив розвитку психофізіологічних спроможностей особистості, укладів її існування. За таких обставин свідомість людини, особливо середньої ланки освіченості і досвідченості, приходить до психологічного дисонансу. Як наслідок – неосудні лавиноподібні дії особистості деструктивного характеру з неконтрольованою зміною світогляду на звичайні та аномальні явища реальності.

Зазначені процеси у вигляді спеціалізованих методів та засобів інтенсивно використовуються в інформаційній боротьбі як складовій гібридних війн. За таких умов особливої актуальності набуває питання своєчасної, адекватної та ефективної протидії негативним інформаційним впливам.

Реалізація завдань протидії негативним інформаційним впливам потребує вирішення комплексу дискретних, взаємопов'язаних етапів, що відображені у вигляді схеми (рис. 6.1.)

Реалізація комплексу зазначених етапів потребує обробки значного об'єму динамічно змінюваних інформаційних масивів, а вимоги своєчасної, адекватної та ефективної їх реалізації потребують автоматизації цих процесів. Технологічно це реалізується комплексом програмно-алгоритмічного забезпечення процесів:

1. Вибір інформаційних джерел для аналізу чи протидії.
2. Автоматизований збір та аналітична обробка даних від заданого переліку інформаційних джерел.
3. Фільтрації інформаційних повідомлень від заданого переліку інформаційних джерел та їх класифікація.
4. Накопичення, систематизація, зберігання та маніпуляція цільовою



Рис. 6.1.

інформацією.

5. Автоматизоване нанесення оперативної обстановки на карту цільового району.

На даний час існує низка програмних засобів для автоматизованої аналітичної обробки даних (АОД). Найпоширеніші з них: Avalanche, Галактика-Zoom, RCO, “Медиалогія”, “Аналитический курьер”, X-Files, КРИТ, SCAI4Twi, “Айкумена-Аналитик”, АРИОН [7, 19, 31]. Їх недо-

ліки: значна вартість закупівлі, навчання персоналу та експлуатації; неможливість оптимізації режимів роботи; відсутність прогнозуючої складової та контентного підходу в багатовимірному аналізі актуальних даних – вимагають розробки ефективних підходів щодо автоматизації АОД.

Традиційно фільтрація інформаційних повідомлень реалізується програмними засобами Intelligent Miner for Text (IBM), TextAnalyst, Text Miner (SAS), SemioMap (Semio Corp.), InfoStream (інформаційний центр «ЕЛВІСТІ»). Такі системи мають розвинені графічні інтерфейси, надають доступ до різних джерел даних, функціонують в архітектурі “клієнт-сервер” та надають широкі можливості зображення і візуалізації результату [77]. Основним їх недоліком є надлишковість знайдених посилань у відповіді на запит користувача, що є результатом дублювання інформації та її невідповідність запиту. Це вимагає розробки спеціалізованого програмно-алгоритмічного забезпечення процесу фільтрації інформаційних повідомлень.

Аналіз результатів, отриманих у галузі інформаційних технологій, показує досить поширену практику використання інформаційно-довідкових систем (ІДС) для накопичення, систематизації, зберігання та маніпуляції цільовою інформацією автоматизації [107]. Однак у кожному конкретному випадку розробнику ІДС необхідно виробити свій унікальний порядок дій для отримання ефективної програмної реалізації системи залежно від галузі її застосування. Тому потребує встановлення уніфікований порядок дій щодо розробки спеціалізованих ІДС.

Автоматизоване нанесення оперативної обстановки на цифрову карту цільового району традиційно реалізується засобами автоматизації підтримки прийняття рішень як вбудованого додатка або з використанням стандартних геоінформаційних систем (ГІС) [108]. В обох випадках розв’язання специфічних завдань протидії негативним інформаційним впливам із відображенням джерел небезпеки, форм та способів дій

суб'єктів впливу, склад і геопросторові характеристики об'єктів впливу тощо не забезпечуються розробленням і використанням цифрових карт оперативної обстановки. Це вимагає вироблення дієвих програмно-алгоритмічних засобів реалізації процесу формування і відображення геопросторових даних.

У зв'язку із зазначеним, метою даного розділу є розробка спеціалізованого програмно-алгоритмічного забезпечення процесу нейтралізації негативного інформаційного впливу.

6.2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БАГАТОКРИТЕРІЙНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕРНЕТ - САЙТІВ

Сучасний розвиток інформаційних технологій та поширення цільового контенту в глобальних інформаційно-комунікативних мережах вимагає виважених та обґрунтованих рішень щодо вибору інформаційних засобів (сайтів) для ефективного розповсюдження цільової інформації про визначений процес, систему або діяльність. Розміщення цільової інформації в Інтернет - середовищі є одним із методів популяризації товару, обговорення актуальної тематики, розповсюдження заданого контенту і загалом із прийняттям у майбутньому певних рішень та формування подальших дій [8]. Одним з етапів поширення інформації в Інтернет - середовищі є попереднє оцінювання ефективності певного інформаційного ресурсу [25]. При цьому результат оцінювання має бути підставою для особи, яка проводить розповсюдження цільового контенту для розміщення цієї інформації, з прийняттям правильного рішення, що забезпечує мінімальні ризики [81, 104]. Для цього слід врахувати основні фактори, що впливають на кінцевий результат, – отримання оцінки ефективності Інтернет - сайтів цільового спрямування [23]. За таких умов актуальним є завдання вироблення підходу до визначення обумовленої адекватної оцінки ефективності Інтернет - сайтів.

Питанням оцінювання ефективності Інтернет - сайтів цільового спрямування приділена значна кількість публікацій [88, 91, 133]. Їх суть зводиться до евристично-емпіричного оцінювання множини критеріїв особою, що приймає рішення про розповсюдження цільового контенту Інтернет - мережею. Питання автоматизованого вироблення єдиного рішення не знайшло свого відображення у відомій літературі. Загалом завдання оцінювання ефективності належить до класу задач аналізу складних систем і процесів [112]. Традиційно оцінювання ефективності здійснюється в послідовності: визначення факторів, показників та критеріїв; формування моделі вироблення рішення; інтерпретація отриманого результату [149].

Серед всіх методів оцінювання ефективності найбільш поширені одно-критерійні та багатокритерійні моделі оцінювання ефективності, останні мають порівняно кращу адекватність [27, 98]. Однак для кожного конкретного завдання необхідно сформулювати свій унікальний перелік факторів, показників та критеріїв ефективності з подальшим визначенням моделі вироблення рішення. Користувач програмного забезпечення інформаційної системи (Інтернет - сайтом) для оперативного оцінювання ефективності сайту користуються не якимись певними критеріями, а першими абстрактними характеристиками: хороший-поганий, гарний-жахливий, комфортний-незручний. Задача оцінювання ефективності Інтернет-сайтів цільового спрямування носить важливий характер через задачі, які стоять перед оператором щодо розміщення спрямованої інформації визначеній цільовій аудиторії. Тому потребує розв'язання науково-практичне завдання оцінювання ефективності Інтернет - сайтів шляхом вироблення обумовленого підходу на базі конкретної багатокритерійної моделі процесу оцінювання.

Таким чином метою дослідження є формування математичної моделі багатокритерійного оцінювання ефективності Інтернет - сайтів.

1. Визначення факторів, формування показників та критеріїв ефективності Інтернет - сайтів у глобальній мережі Інтернет. У процесі формування показників і критеріїв ефективності Інтернет - сайтів, слід дотримувались таких вимог:

1. Критерії повинні відображати властивості інформаційного наповнення сайту, а саме, розміщена інформація повинна бути достовірною, своєчасною, постійно оновлюватись, доступною користувачу і повною.

2. Критерії повинні відображати властивості сайту в цілому – популярність, інформативність, презентабельність, зручність.

3. Має бути можливість підрахунку критеріїв чи відобразитися числом.

4. При підрахунку значень критеріїв повинні переважати об'єктивні джерела інформації над суб'єктивними.

У ході досліджень, шляхом евристичного аналізу предметної області оцінювання ефективності та інформаційних джерел, сформовано інфологічну модель факторів, показників та критеріїв ефективності Інтернет - сайтів, яка подана у вигляді табл. 6.1. Для вирішення поставленого завдання були використані показники Юзабіліті та деякі критерії ефективності SEO оптимізації сайту. *Показник Юзабіліті* – це характеристика, яка визначає, наскільки програмне забезпечення готове до використання. Якщо показник Юзабіліті застосовувати до Інтернет - сайту, то це дасть змогу визначити його функціональність і зручність у використанні. *SEO* –

це комплекс заходів, метою яких є досягнення рейтингових позицій сайта в пошукових системах за вибраною групою ключових запитів.

Значення показників, які наведені в табл. 6.1, брались із сайтів: 2ip.ru, alexa.com, google.com/analytics.

Таблиця 6.1

Інфологічна модель факторів, показників та критеріїв ефективності

№ з/п	Група факторів	№ з/п	Фактори в групі	Показник	Критерій
1	Показники Юзабіліті	1	Сумарний час, проведений користувачами на сайті за день	K_A	$K_A \rightarrow \max$
		2	Середня кількість переглянутих сторінок за один день одним користувачем	K_B	$K_B \rightarrow \max$
		3	Швидкість завантаження сторінки	K_C	$K_C \rightarrow \max$
		4	Час завантаження сторінки	K_D	$K_D \rightarrow \min$
		5	Внутрішні посилання	K_E	
		6	Зовнішні посилання	K_F	$K_E \rightarrow \min$
2	SEO критерії	7	Кількість сторінок у Яндекс	S_Y	$S_Y \rightarrow \max$
		8	Кількість сторінок у Google	S_G	$S_G \rightarrow \max$
		9	Тематичний індекс цитувань у Яндекс	S_Q	$S_Q \rightarrow \max$
		10	Google Page Rank	S_{PR}	$S_{PR} \rightarrow \max$
		11	Рейтинг сайта у світі	S_K	$S_K \rightarrow \min$
		12	Зворотні посилання	S_B	$S_B \rightarrow \max$

Дана модель враховує взаємозв'язок факторів, показників та критеріїв двох груп: показники Юзабіліті та SEO критерії. Встановлені критерії становлять собою суперечливу систему, що свідчить про зведення задачі оцінювання ефективності до багатокритерійної форми. Задача багатокритерійного оцінювання ефективності Інтернет - сайта полягає у тому, що береться один образ (сайт) із найгіршими показниками і для нього проводять розрахунки з подальшим порівнянням з іншими сайтами.

II. Формування моделі вироблення рішення про ефективність впровадження нового сайта серед множини інших ресурсів у глобальній мережі Інтернет полягає у зведенні (агрегації) переліку суперечливих часткових критеріїв табл. 6.1 до узагальненої оцінки. Для цього обрано нелінійну схему компромісів професора Вороніна А. М., виходячи із доведених переваг цієї схеми агрегації [36]. Сутністю зміни значень, що описують встановлені часткові критерії (див. табл. 6.1) є дискретна форма. Тоді зазначена вище згортка матиме вигляд

$$Y(y_0) = \sum_{l=1}^k \gamma_{0l} (1 - y_{0l})^{-1} \rightarrow \min, \quad (6.1)$$

де $l = 1 \dots k$ – кількість включених у згортку часткових критеріїв; γ_{0l} – нормований ваговий коефіцієнт; y_0 – нормативний часткових критеріїв. Нормування критеріїв, що входять до згортки (6.1), здійснюється відносно найвищого (для тих, що мінімізуються), та найнижчого (для тих, що максимізуються), значень показників для особливостей певного сайту.

Вагові коефіцієнти нормуються за виразом

$$\gamma_{0l} = \frac{\gamma_l}{\sum_{l=1}^k \gamma_l}, \quad (6.2)$$

де γ_l – поточне (ненормоване) значення вагового коефіцієнта.

Надалі здійснюється послідовне (у межах кожної із двох груп факторів) зведення часткових критеріїв до узагальнених за групою (за виразом (6.1)) та до інтегрованого критерію ефективності. Цим реалізується технологія вкладених згорток і забезпечується чутливість кінцевого рішення до зміни кожного з 12 часткових критеріїв табл. 6.1. Приймаючи надалі для спрощення запису в (6.1) вагові коефіцієнти за одиниці, з позначенням нормувань критеріїв нулем, отримаємо узагальнені критерії ефективності за кожною групою:

$$\begin{aligned} F_1 &= \gamma_{0K_A} (1 - K_{A0})^{-1} + \gamma_{0K_B} (1 - K_{B0})^{-1} + \gamma_{0K_C} (1 - K_{C0})^{-1} + \\ &+ \gamma_{0K_D} (1 - K_{D0})^{-1} + \gamma_{0K_E} (1 - K_{E0})^{-1} + \gamma_{0K_F} (1 - K_{F0})^{-1} \rightarrow \min, \quad (6.3) \\ F_2 &= \gamma_{0S_Y} (1 - S_{Y0})^{-1} + \gamma_{0S_G} (1 - S_{G0})^{-1} + \gamma_{0S_Q} (1 - S_{Q0})^{-1} + \\ &+ \gamma_{0S_{PR}} (1 - S_{PR0})^{-1} + \gamma_{0S_K} (1 - S_{K0})^{-1} + \gamma_{0S_B} (1 - S_{B0})^{-1} \rightarrow \min. \end{aligned}$$

Для визначення інтегрованої оцінки ефективності за дискретною згорткою (6.1) із узагальнених критеріїв (6.3) здійснюється їх нормування відносно найгіршої оцінки (максимального значення показника, що характеризує частковий критерій).

З урахуванням зазначеного інтегрована оцінка ефективності Інтернет - сайтів формується так:

$$I = \gamma_{10} (1 - F_{10})^{-1} + \gamma_{20} (1 - F_{20})^{-1} \rightarrow \min. \quad (6.4)$$

III. Інтерпретація отриманого рішення полягає у приведенні значення інтегрованої оцінки (6.5) до єдиної шкали зміни, наприклад, від 0 (найгірша) до 1 (найкраща оцінка). Це досягається шляхом нормування (6.4) до абстрактної найгіршої оцінки найгіршого сайту, що дає змогу:

1. Здійснювати агрегацію часткових критеріїв до інтегрованого виду за згорткою.
2. Встановлювати значення критеріїв оцінки в межах від 0 до 1 з найкращим значенням – 0, найгіршим 1. Останнє дає змогу здійснювати оцінку одного окремого сайту з подальшим порівнянням декількох сайтів.

$$\max I = \sum_{i=1}^2 (1 - [\max F_i - \Delta])^{-1}, \quad (6.5)$$

де $\max F_i$ – найгірше з можливих значень часткового показника; Δ – коефіцієнт запасу, що забезпечує уникнення некоректних операцій при нормуванні і приймається рівним $\Delta = 0,1 - 0,3$.

Вирази (6.3) – (6.5) становлять математичну модель, яка будується на послідовному угрупованні часткових критеріїв до інтегрованої оцінки ефективності оцінки Інтернет - сайтів. Отриману числову оцінку можливо привести до лінгвістичної категорії відповідно до фундаментальної шкали оцінювання, наприклад у вигляді табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Фундаментальна шкала оцінювання

Інтегрована оцінка ефективності I_0	Лінгвістична категорія ефективності
1,0 – 0,7	Висока
0,7 – 0,5	Добра
0,5 – 0,4	Задовільна
0,4 – 0,2	Низька
0,2 і менше	Незадовільна

Приклад застосування багатокритерійного оцінювання ефективності.

В Інтернет - середовищі розміщено множину різноманітної інформації, яка оформлена у вигляді окремих сторінок, що логічно пов'язані між собою. Ця інформація становить собою Інтернет - сайти. Для розрахункового прикладу і доведення дієвості запропонованого підходу проводились розрахунки за початковими даними табл. 6.3 для Інтернет - сайтів трьох вищих навчальних закладів України: Київського політехнічного інституту, Національного авіаційного університету та Київського національного університету імені Т. Г. Шевченка.

Порядок розрахунків щодо формування узагальнених значень показників показано лише для першої категорії критеріїв ефективності “Показники Юзабіліті” з початковими даними для Національного авіаційного університету. Решта обчислень здійснюється аналогічним чином.

Початкові дані для розрахунків

№ з/п групи	№ з/п факторів	Показник	Діапазон зміни		Поточне значення	Нормуюче значення
			min	max		
1	1	K _A	259 хв	444 хв	262 хв	259 хв -Δ
	2	K _B	3,9	5,7	3,9	3,9-Δ
	3	K _C	178,54кб/с	333,31 кб/с	333,31 кб/с	178,54 кб/с -Δ
	4	K _D	2,41 с	4 с	3,94 с	4 с+Δ
1	5	K _E	18	291	291	18-Δ
	6	K _F	12	41	14	41+Δ
2	7	S _Y	89 000	407 000	135 000	89 000-Δ
	8	S _G	265 000	437 000	265 000	265 000-Δ
	9	S _Q	380	2300	1200	380-Δ
	10	S _{PR}	6	7	6	6-Δ
	11	S _K	79 102	349 358	349 358	349 358+Δ
	12	S _B	565	1 733	565	565-Δ

Відповідно до виразу (6.3) маємо модель розрахунку узагальненої оцінки для першої групи факторів, де спочатку проводиться нормування часткових критеріїв:

$$F_{0l}^{\min} = \frac{F_l^{\min}}{\max F_l^{\min} + \Delta}, \quad F_{0l}^{\max} = \frac{\min F_l^{\max} - \Delta}{F_l^{\max}}$$

$$K_{A0} = \frac{259 - \Delta}{262} = 0,9874, \quad K_{B0} = \frac{3,9 - \Delta}{3,9} = 0,923,$$

$$K_{C0} = \frac{178,54 - \Delta}{333,31} = 0,5348, \quad K_{D0} = \frac{3,94}{4 + \Delta} = 0,9163,$$

$$K_{E0} = \frac{18 - \Delta}{291} = 0,0608, \quad K_{F0} = \frac{14}{41 + \Delta} = 0,339, \quad \Delta = 0,3.$$

Розрахунки для узагальненої оцінки за першою групою факторів мають такий зміст:

$$F_1 = (1 - 0,9874)^{-1} + (1 - 0,923)^{-1} + (1 - 0,5348)^{-1} + (1 - 0,9163)^{-1} + (1 - 0,0806)^{-1} + (1 - 0,339)^{-1} = 109,0495.$$

Нормування часткових показників для узагальненої оцінки здійснюється таким чином:

$$K_{A0}^{\min} = \frac{259 - \Delta}{259} = 0,9988, \quad K_{B0}^{\min} = \frac{3,9 - \Delta}{3,9} = 0,923, \quad K_{C0}^{\min} = \frac{178,54 - \Delta}{178,54} = 0,9983,$$

$$K_{D0}^{\max} = \frac{4}{4+\Delta} = 0,93, \quad K_{E0}^{\min} = \frac{18-\Delta}{18} = 0,9833, \quad K_{F0}^{\max} = \frac{41}{41+\Delta} = 0,9927, \quad \Delta = 0,3.$$

Надалі реалізується розрахунок узагальненої нормуючої оцінки для першої групи факторів:

$$\begin{aligned} \max F &= \sum_{i=1}^k \gamma_{i0} (1 - \max F_i)^{-1}, \\ \max F_1 &= (1 - 0,9988)^{-1} + (1 - 0,923)^{-1} + (1 - 0,9983)^{-1} + (1 - 0,93)^{-1} + \\ &+ (1 - 0,9833)^{-1} + (1 - 0,9927)^{-1} = 1645,7045. \end{aligned}$$

Як результат маємо узагальнену нормовану оцінку ефективності для першої групи факторів:

$$F_0 = F / \max F, \quad F_{i0} = (F_i / \max F_i) = 109,0495 / 1645,7045 = 0,066.$$

Відповідно до визначених початкових даних, із використанням виразів (6.3)–(6.5) отримано значення інтегрованої оцінки ефективності Інтернет-сайтів, яке становить $I_0 = 0,7212$. Розрахунок інтегрованої оцінки ефективності для інших двох інформаційних ресурсів проводилась аналогічним чином. Результати розрахунків висвітлено в табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Інтегровані оцінки ефективності

	КПІ	НАУ	КНУ ім. Т. Г. Шевченка
I_0	0,7463	0,7212	0,6824

Лінгвістична категорія ефективності згідно з фундаментальною шкалою оцінювання для обраного сайту має “високий” рівень. Отже, слід позитивно оцінити Інтернет - сайт Національного авіаційного університету порівняно з іншими запропонованими інформаційними ресурсами. Виходячи з розрахункових даних табл. 6.4, в порівнянні між собою інформаційних ресурсів, кращі показники має Київський політехнічний інститут із значенням інтегрованої оцінки $I_0 = 0,7463$. Проведені розрахунки доводять дієвість запропонованої моделі багатокритерійного оцінювання.

Таким чином, у ході досліджень сформовано математичну оптимізаційну модель багатокритерійного оцінювання ефективності Інтернет – сайтів. Модель відрізняється від відомих аналогів використанням запропонованої системи факторів, показників і критеріїв, розбитих на дві групи за належністю до певної категорії ефективності. З метою врахування всіх критеріїв у результаті оцінювання застосовано технологію вкладених

згорток. Формування моделі базується на використанні методів зв'язку багатокритеріальних задач, зокрема методу зведення її до однокритеріальної форми шляхом згортки часткових критеріїв. Приклад використання розробленої моделі підтвердив її придатність для вирішення практичних завдань оцінювання ефективності. Дану модель можливо застосовувати для унітарної та порівняльної оцінки Інтернет-сайтів цільового спрямування.

6.3. ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ БАГАТОВИМІРНОЇ ОПЕРАТИВНОЇ ТА ПОГЛИБЛЕНОЇ АНАЛІТИЧНОЇ ОБРОБКИ АКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МАСИВІВ

В останній час очевидно є тенденція до централізованої обробки інформації та управління даними. Це пов'язано зі збільшенням продуктивності обчислюваних систем у цілому, швидкодії засобів комунікації, а також розвитком глобальних комунікативних технологій. По суті маємо єдине інформаційне середовище з надмірним інформаційним сегментом, що потребує певного оброблення значних об'ємів інформації з метою отримання аналітичного підґрунтя для управлінських рішень та дій. Дедалі збільшується кількість галузей, де застосовується аналітична обробка даних (АОД). Майже всюди, де потрібно аналізувати великі об'єми інформації, зберігати дані, робити прогнози і на їх основі приймати рішення, необхідне використання методів багатовимірного оперативного та поглибленого аналізу. Основні напрямки застосування АОД втілені у галузях медицини, торгівлі, Інтернет-технологій, телекомунікацій, промисловості, страхового бізнесу та у банківській справі (рис.6.2) [137].

Незалежно від галузі застосування процесу аналітичної обробки даних та їх результатів можна виділити певні особливості цього процесу:

1. Обробці підлягатиме різна за формою подання, актуальністю, достовірністю та повнотою інформація з різнорідними властивостями.
2. Результати обробки повинні оперативно надатись споживачеві з можливістю їх уточнення протягом зміни інформації та поточної обстановки.
3. Існує певна методика процесу АОД незалежно від галузі її застосування.
4. Результати АОД мають відповідати властивостям достовірності, своєчасності і повноти [72].

Перші три аспекти породжують антагоністичний конфлікт вимог та можливостей, який можна розв'язати шляхом автоматизації процесу АОД. Останній аспект обумовлює певну уніфікацію процесу автоматизації аналітичної обробки даних у вигляді спеціальної технології.

При цьому автоматизація АОД повинна враховувати багатовимірність обробки, зважаючи на такі фактори:



Рис. 6.2

1. Різноманітність за актуальністю, достовірністю і повнотою інформаційних джерел.
2. Зміна динаміки контенту інформації та її властивостей достовірності, своєчасності і повноти у часі.
3. Відсутність єдиного формату оброблюваних даних.
4. Необхідність створення асоціативних відношень для різного інформаційного контенту.

Автоматизація АОД повинна забезпечувати інтеграцію процесу обробки даних із динамічною актуалізацією із відповідних джерел інформації для врахування зміни вихідних умов та отримання якісних висновків [63]. Актуалізація даних тут полягає в он-лайн моніторингу, накопиченні й обробці даних змінювати інформаційні джерела за заданим контентом.

На даний час існує ціла низка програмних засобів для АОД, які мають істотні недоліки: значна вартість закупівлі, навчання персоналу та експлуатації; неможливість оптимізувати режими роботи через прихованість математичного апарату; нерозвинутість прогнозуючої складової та ретроспективного аналізу даних; відсутність контентного підходу в багатовимірному аналізі актуальних даних. Усі ці фактори призводять до неможливості використання наявних систем для розв'язання цільових задач у конкретній предметній області.

У зв'язку із зазначеним актуальним постає завдання розробки технологічного підґрунтя для автоматизації АОД за умов багатовимірності вхідних даних та необхідності їх актуалізації.

Розроблена технологія істотно перевершує існуючі підходи наявністю багатовимірності в аналізі та можливістю врахування актуальності даних.

Технологія автоматизації АОД повинна забезпечувати інтеграцію процесу обробки джерел даних із динамічною інформацією для актуалізації вихідних умов та результативних висновків [28].

Метою досліджень є розробка технології автоматизації багатовимірної актуальної АОД як основи для програмного комплексу оперативного і поглибленого аналітичного аналізу інформаційних масивів.

У загальному значенні аналітична обробка – це сукупність інтелектуальних операцій, які здійснюються у визначеній послідовності з використанням засобів, що приводять до досягнення цілей та завдань дослідження або отримання нових знань чи вигідної інформації.

Основні етапи інформаційно-аналітичної роботи (ІАР) включають сукупність таких етапів:

1. Загальне та детальне ознайомлення із завданням, а також із суміжними питаннями, вивчення яких може виявитися корисним для формування якісного висновку.

2. Визначення використовуваних термінів та понять.

3. Збір і накопичення інформаційних масивів, що включають факти цільового спрямування.

4. Тлумачення фактів – вивчення та обробка фактів із метою повного вилучення зайвої інформації. Етап включає оцінювання, класифікацію, аналіз та пояснення фактів.

5. Побудова гіпотез про висновки, їх перевірка та зменшення розмірності до однієї робочої.

6. Формування висновку на підставі обраної гіпотези.

7. Оформлення і подання аналітичного висновку (документа, звіту).

Проведення АОД потребує, перш за все, пошуку, накопичення і зберігання інформаційних масивів для їх поточного детального та ретроспективного аналізу [72].

В останні роки у світі сформувалася низка нових концепцій збереження та аналізу даних:

1. Сховища даних, або склади даних (DataWarehouse).

2. Оперативна аналітична обробка (On-Line Analytical Processing, OLAP).

3. Інтелектуальний аналіз даних – ІАД (DataMining).

Технології OLAP тісно пов'язані з технологіями побудови сховищ даних –DataWarehouse і методами інтелектуальної обробки – DataMining. Тому найкращим варіантом є комплексний підхід до їх упровадження.

Автоматизовану АОД можна розділити на три складові:

OLAP – On Line Analytical Processing – технологія оперативної аналітичної обробки даних, що використовує методи та засоби для збору, збереження та аналізу багатовимірних даних;

DataMining – процес знаходження в необроблених даних прихованої інформації;

TextMining – процес знаходження в тексті прихованих даних.

OLAP-системи надають аналітику засоби перевірки гіпотез під час аналізу даних. Для ідентифікації прихованих даних необхідно застосовувати спеціальні методи автоматичного аналізу, за допомогою яких доводиться практично добувати знання із значних об'ємів інформації. За цим напрямком міцно закріпилось поняття здобуття даних, або DataMining.

DataMining – дослідження та знаходження автоматизованими алгоритмічними методами в необроблених даних прихованих знань, які раніше не були відомі, нетривіальні, практично корисні, доступні для інтерпретації людиною [82].

Відповідно до етапів ІАР аналітичний аналіз має виконувати функції

за двома складовими: TextMining та DataMining. TextMining повинен виявляти документи заданих категорій та групи семантично схожих документів, ідентифікувати факти та асоціації, аналізувати тренди [7], DataMining – виявляти класи об’єктів, його параметри, здійснювати пошук незалежних груп, їх характеристики та залежності між об’єктами (рис.6.3).

Таким чином, технологія автоматизації багатовимірної оперативної та поглибленої аналітичної обробки актуальних інформаційних масивів повинна реалізувати етапи IAP, будуватись на функціях TextMiningта DataMining, забезпечувати здійснення багатовимірного аналізу (враховувати різномірність даних та їх властивості, що динамічно змінюються у часі) щодо актуальних (оперативно оновлюючих чи он-лайн доступних) інформаційних масивів.

Це реалізується через сукупність технологічних функцій (рис. 6.3).

1. Формування єдиного сегмента даних певного формату для подальшої обробки у формі файла певного формату. Універсальний формат дає можливість автоматизувати введення електронних інформаційних потоків приведенням інформації до єдиного внутрішнього подання, а також зведення до мінімуму рутинної роботи щодо введення нерегулярних текстових даних.

2. Зберігання сегмента у базі даних. Вбудована система автоматичного слідування за публікацією “свіжих” новин на інформаційних сайтах в Інтернеті дозволяє автоматизувати і цю частину діяльності інформаційних та аналітичних служб.

3. Аналітичне оброблення даних шляхом проведення селекції інформаційного масиву за допомогою методу опорних векторів призначена для автоматизації процесу підготовки звітів та дайджестів, а також дозволяє аналітику відслідковувати та обробляти дані з інформаційного простору ЗМІ у режимі реального часу.

3.1. Ідентифікація за часом появи реалізується з використанням формалізаційних обмежень появи актуального інформаційного масиву.

3.2. Ідентифікація за джерелом розповсюдження.

3.3. Ідентифікація за визначеним контентом реалізується за рахунок порівняння актуального масиву з масивом словникових слів, де також можуть створюватися ключові фрази з модифікованими відмінковими змінами.

4. Прогнозування ситуації, наприклад, з використанням методу найменших квадратів для побудови апроксимуючої поверхні.

5. Побудова графічного поля даних. Наочність отриманих результатів через графічне відображення залежностей.

6. Формування звіту про інформацію, отриману в результаті виконання аналізу.



Рис. 6.3

Технологію автоматизованої багатовимірної оперативної та поглибленої аналітичної обробки актуальних інформаційних масивів можна подати структурною схемою (рис. 6.4).

Результат виконання запропонованої технології дозволить отримати висновки як результат автоматизації АОД.

Запропонована технологія базується на автоматизації процесу АОД. Вона суттєво відрізняється застосуванням досконалішого математичного апарату та розвиненішою прогнозуючою складовою. Технологія забезпечує інтеграцію процесу обробки даних із динамічною актуалізацією з відповідних джерел інформації вихідних умов та врахування зміни отримання якісних висновків, що створює надійну основу для програмного комплексу оперативного і поглибленого аналітичного аналізу інформаційних масивів.

Математичне забезпечення автоматизованої АОД практично реалізується поетапно аналітичною обробкою даних шляхом проведення селекції інформаційного масиву та прогнозуванням ситуації, що функціонально задаються таким чином.

Для селекції інформаційного масиву кожний документ відображається як вектор у багатовимірному просторі, кожний вимір якого відповідає квантитативній характеристиці лексем зі словника аналізованих текстових масивів. Текстовий масив можна зобразити у вигляді матриці слів та документів, у якій стовпці визначають документ, а рядки – стрічки частоти термів у цих документах. Тоді кожен стовпець використовується для формування вектора відповідного документа. Мірою відстані між двома документами може бути кут між векторами цих документів в утвореному векторному просторі.

Опишемо цей словник як упорядковану множину:

$$W = \{w_j \mid j=1,2,\dots,N_w\}. \quad (6.6)$$

Сукупність текстових документів опишемо такою множиною:

$$D = \{d_j \mid j=1,2,\dots,N_d\}. \quad (6.7)$$

Під документом з $j = 0$ будемо вважати документ із нейтральним текстом, який відповідає опорному векторові. Введемо множину векторних полів:

$$S = \{s_k \mid k=1,2,\dots,N_s\}. \quad (6.8)$$

Під векторним полем розуміють таку множину лексем, які об'єднані певним спільним поняттям.

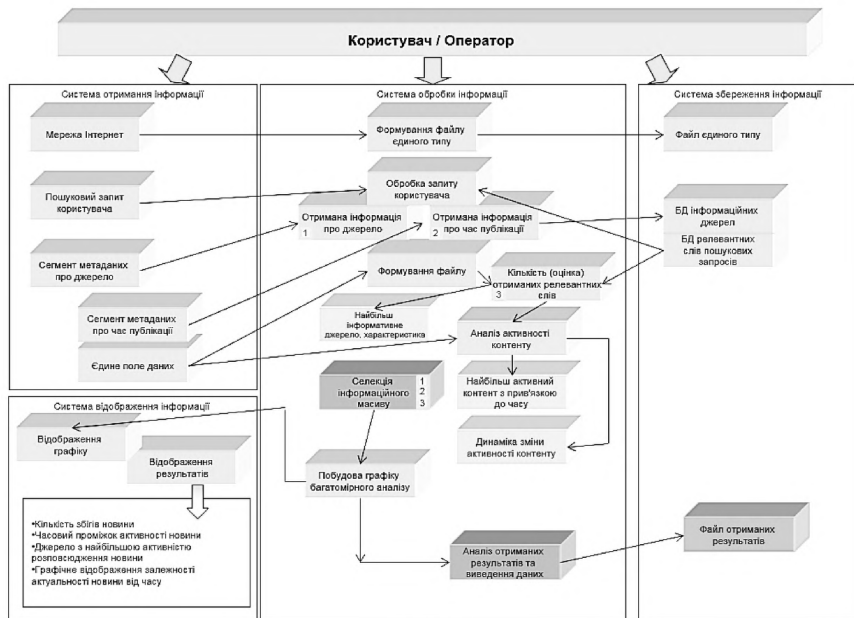


Рис. 6.4

Документ d_j з множини текстових документів D можна уявити як упорядковану множину слів, порядок елементів якої відповідає порядку слів у цьому документі:

$$T_j^d = \{t_{lj} \mid l=1,2,\dots,N_j^d\}. \quad (6.9)$$

Упорядкований за алфавітом словник текстового документа d_j розглянемо як мультимножину W_j^d над множиною словника W :

$$W_j^d = \{n_{ij}^{wd} \mid w_i \in d_j, j=1,2,\dots,N_w\}, \quad (6.10)$$

де n_{ij}^{wd} – кількість входжень лексеми w_j зі словника W у множину лексем текстового документа d_j , яку можна визначити як:

$$n_{ij}^{wd} = \sum_{l=1}^{N_j^d} f_{wd}(t_{lj}, w_i), \quad (6.11)$$

де

$$f_{wd}(t_{lj}, w_i) = \begin{cases} 1, & t_{lj} = w_i, \\ 0, & t_{lj} \neq w_i. \end{cases} \quad (6.12)$$

Для подання ознак документа d_j використаємо вагові коефіцієнти термінів tf (частота терміну в документі d_j) та idf (обернена кількість слів у документі). Сукупність цих ознак утворюють вектор

$$V_j^d = (tf_{1j}^{wd}, idf_{1j}^{wd}; f_{2j}^{wd}, idf_{2j}^{wd}; \dots; f_{N_wj}^{wd}, idf_{N_wj}^{wd}) \quad (6.13)$$

де $tf_{N_wj}^{wd} = \frac{n_{lj}^{wd}}{N}$ – відношення кількості входження слова w_j зі словника W у множину лексем текстового документа d_j на загальну кількість лексем N у текстовому документі d_j ; $idf_{N_wj}^{wd} = \log_{10}(\frac{k_d}{N_d})$ – десятковий логарифм відношення кількості документів, у яких зустрічається терм k_d , до загальної кількості документів N_d .

Для визначення належності до тематики скористаємося скалярним добутком векторів, звідки знаходимо кут між тематичним і текстовим векторами:

$$\cos(\alpha) = \frac{tf_1 \cdot tf_2 + idf_1 \cdot idf_2}{\sqrt{tf_1^2 + idf_1^2} \cdot \sqrt{tf_2^2 + idf_2^2}}, \quad (6.14)$$

де tf_1 та idf_1 – координати опорного вектора тематики, а tf_2 та idf_2 – вектор текстового документа.

Згладжування може бути здійснене за методом середньозважених. Коли проводяться вимірювання деякої величини з неоднаковою точністю, необхідно визначити її середнє значення за результатами декількох вимірів. У такому разі слід враховувати відносну вагу i -го джерела, яка обернено пропорційна дисперсії, що є мірою достовірності інформаційного джерела за шкалою від 0 до 1, тобто

$$\eta_i = \frac{1}{\sigma_i^2}. \quad (6.15)$$

Середньозважене визначається так:

$$\bar{\xi} = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i \eta_i}{\sum_{i=1}^n \eta_i}, \quad (6.16)$$

де ξ_i – кількість згадувань в i -му джерелі [62].

Для прогнозування ситуації найкраще підійде побудова апроксимуючої поверхні за допомогою методу найменших квадратів (МНК). Початковою інформацією для МНК є вибірка експериментальних даних, подано їх у табл. 6.5.

Таблиця 6.5

Вибірка експериментальних даних

t	t_1	t_2	t_3	...	t_n
y	y_1	y_2	y_3	...	y_n

У табл. 6.5 позначено $t_i, i=1...n$. Завдання обробки вибірки вимірів (табл. 6.5) із використанням МНК полягає у визначенні параметрів апроксимуючої функції $\hat{y} = f(t)$, яка найбільш точно відтворювала б поведінку реального процесу.

Нехай досліджуваний процес достатньо точно описується поліноміальною моделлю

$$T(t) = \sum_{i=0}^m c_i \varphi_i(t_i), (m \geq 2n), \quad (6.17)$$

де c_i – коефіцієнт апроксимуючої функції;

$\varphi_i(t_i)$ – базисні функції апроксимуючого полінома;

m, n – порядок апроксимуючого полінома і кількість вимірів у вибірці відповідно.

Тоді задача згладжування вимірної вибірки полягає у визначенні коефіцієнтів апроксимуючого полінома, що забезпечує одержання оцінок вимірюваних координат за деяким критерієм оптимальності.

Критерієм оптимальності МНК є вимога мінімуму дисперсії згладжених параметрів. Іншими словами, сума квадратів різниць між виміряними значеннями і згладженими параметрами досліджуваного процесу повинна бути мінімальною. У математичному записі критерій оптимальності МНК матиме вигляд

$$\delta(t, c) = \sum_{i=1}^n q_i (y_i - T(t_i))^2 \Rightarrow \min, \quad (6.18)$$

де $y_i - i$ – й вимір контролюваного параметра;

$T(t_i)$ – значення згладжуючого полінома у дискретні моменти часу x_i ;

c – параметр, що об'єднує невідомі коефіцієнти c_i апроксимуючої функції.

Для визначення мінімуму функціонала (6.18) необхідно знайти m його частинних похідних за невідомими параметрами апроксимуючого полінома (6.17), дорівняти їх до нулів і розв'язати утворену у такий спосіб систему рівнянь (6.19):

$$\begin{cases} \frac{\partial \delta(t, c)}{\partial c_0} = 0; \\ \frac{\partial \delta(t, c)}{\partial c_1} = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial \delta(t, c)}{\partial c_n} = 0. \end{cases} \quad (6.19)$$

Провівши допоміжні перетворення системи рівнянь (6.19), розв'язок задачі пошуку параметрів апроксимуючого полінома (6.17), що відповідають нормі МНК (6.18), можна подавати у вигляді матричного алгоритму методу найменших квадратів:

$$\hat{C} = (F^T F)^{-1} F^T \bar{Y}, \hat{T} = F \hat{C} = T(t) \quad (6.20)$$

Застосування алгоритму МНК (6.20) дозволяє одержати поліноміальну модель досліджуваного процесу у вигляді (6.17), узгоджену з експериментальними даними (табл.6.5), а також згладжені значення вимірних координат, які відповідають критерію оптимальності (6.18).

Матриці, що входять до виразів (6.20), мають такі розмірності, назви та загальний вигляд:

$\hat{C}[m \times 1]$ – вектор коефіцієнтів згладжуючого полінома;

$F[n \times m]$ – матриця значень базисних функцій (матриця плану);

$\bar{Y}[n \times 1]$ – вектор вимірних параметрів;

$\hat{T}[n \times 1]$ – вектор згладжених параметрів.

Вказані матриці у загальному випадку мають вигляд:

$$\hat{C} = (C_0 C_1 \dots C)^T \quad (6.21)$$

$$F = \begin{pmatrix} \varphi_0(t_1) & \dots & \varphi_m(t_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_0(t_n) & \dots & \varphi_m(t_n) \end{pmatrix} \quad (6.22)$$

$$R = \begin{pmatrix} \sigma_{t_1}^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \sigma_{t_{n-1}}^2 & \vdots \\ 0 & \dots & \sigma_{t_n}^2 \end{pmatrix} \quad (6.23)$$

$$\bar{Y} = (\xi_1 \xi_2 \dots \xi_n)^T; \hat{T} = (t_1 t_2 \dots t_n)^T \quad (6.24)$$

Формуючи зазначені матриці, за наявності вимірних параметрів досліджуваного процесу, використовуючи вирази (6.19), отримаємо вектор коефіцієнтів згладжуючого полінома і згладжені значення. Однак ефективне використання алгоритму МНК буде мати місце тільки за умови правильного формування матриць, які входять до (6.19) [61].

Пояснення багатовимірної аналізу актуальних даних, а також процесу автоматизованої АОД із прогнозуванням розвитку контенту пояснюється для однієї k -ї лексеми (рис. 6.5).

Аналіз даних за k -ю лексемою дає криву за \bar{H}_{ij} та поверхню за всіма інформаційними джерелами. Аналіз за сукупністю лексем дає поверхню за \bar{H}_{dj} та гіперповерхню за кожними інформаційним джерелом.

Таким чином, надалі візуалізація результатів розрахунків забезпечить автоматичне визначення *прямої задачі аналізу*:

активність інформаційного простору за лексемою чи темою на час t_j ;

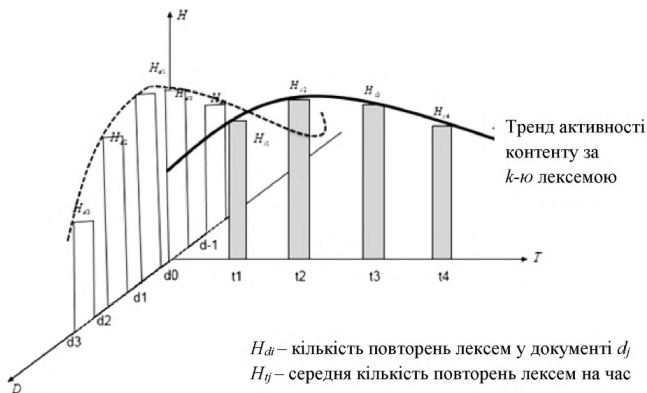


Рис. 6.5

найбільш інформативне (за активністю контенту) інформаційне джерело;

прогнозування зміни ситуації за часом, джерелом і контентом;

прийняття рішення на основі отриманих результатів;

накопичення вхідних даних у базі даних для здійснення ретроспективного та покращення механізму багатовимірного аналізу;

та оберненої задачі:

на основі отриманих даних прогнозування з найбільш інформативного джерела здійснити пошук найбільш актуального контенту та динаміку зміни його активності.

На підставі запропонованої технології розроблено програмний комплекс. У ньому реалізується виконання таких технологічних завдань:

1. Порівняння наявних новин із актуальним контентом.

2. Розрахування часового проміжку актуальності новини.

3. Знаходження джерела з найбільшою активністю розповсюдження новини.

4. Побудова графічного відображення залежності актуальності новини від часу.

Для демонстрації можливостей програмного комплексу розглянемо приклад перевірки правдивості інсайдерської інформації в економічних інформаційних масивах. Аналіз програмного комплексу функціонально складається з чотирьох етапів:

1. Здійснення пошуку актуального контенту інформаційних масивів (рис. 6.6).

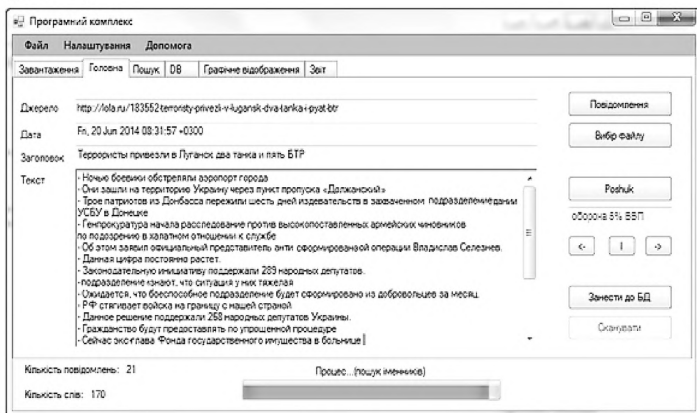


Рис. 6.6

2. Порівняння контенту з масивом, у якому міститься словникова бібліотека. Етап поглибленого аналізу масиву (рис. 6.7).

3. Занесення отриманих статистичних даних до бази даних. Оновлення бази даних (рис. 6.8).

4. Формування даних для звіту аналітичної обробки даних, висвітлення результату прогнозування (рис. 6.9).

Отримана інформація не тільки дозволить зробити висновок щодо правдивості новини, а й розділити ресурси з достовірним наповненням контенту та хибним, що буде доречним для подальшої роботи.

Результатом використання даного комплексу передбачено досягнення цілей відсутності надмірності функцій, відкритості математичного апарату, можливості оптимізування режимів роботи, дешевої експлуатації, наявності прогнозуючої складової та ретроспективного аналізу.

Досвід застосування інформаційно-аналітичної системи при виконанні задач ІАР показав високу ефективність. Розроблена технологія та створена на її основі програмна реалізація підтвердили свою ефективність у вирішенні поставлених до них завдань та ефективно ввійшли до функціональної системи аналітичної обробки.

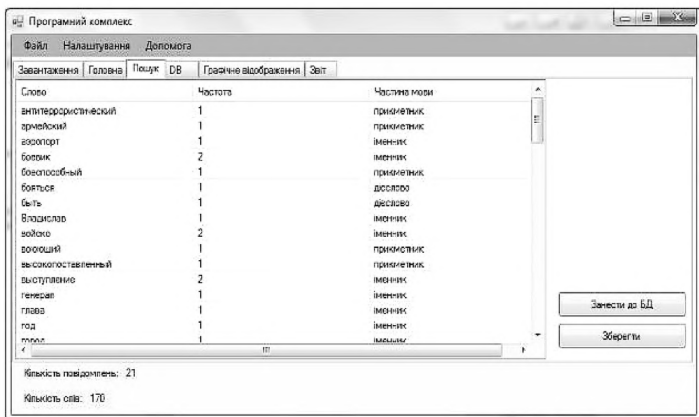


Рис. 6.7

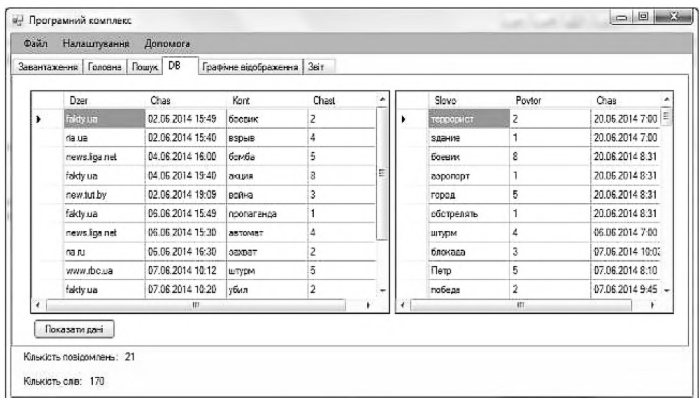


Рис. 6.8

Результати виконання реалізованої технології зображено у звітному вікні програмного комплексу (рис. 6.10), відповідно до вимог поданих вище функцій. Вихідні дані спеціально подаються у 2 формах: у текстовому вигляді для формування звіту щодо проведеної роботи і графічному, що дозволяє аналізувати актуальність інформаційного контенту протягом часу.

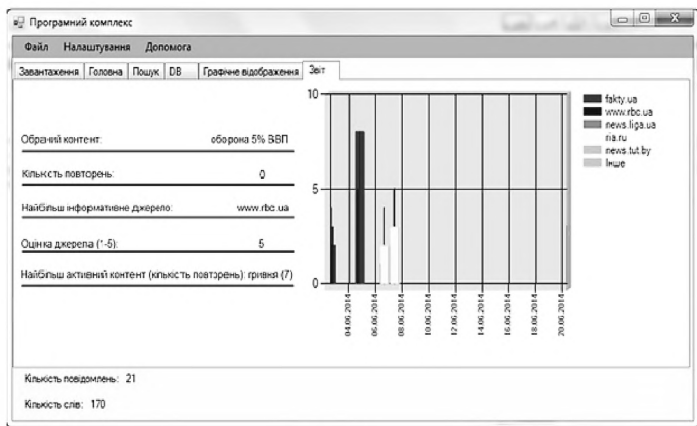


Рис. 6.9

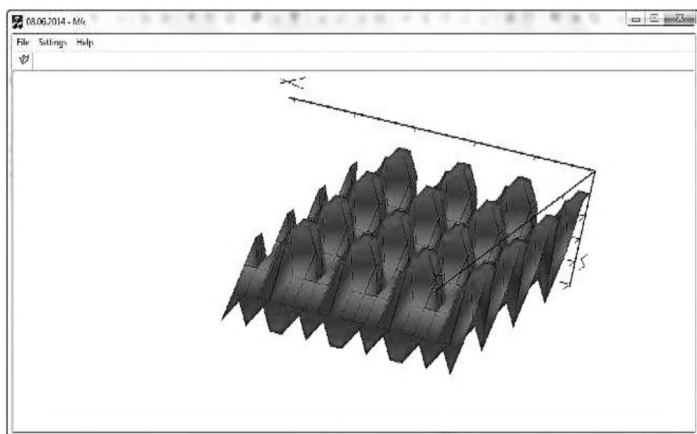


Рис. 6.10

Запропонована технологія базується на автоматизації процесу АОД. Вона суттєво відрізняється застосуванням досконалішого математичного

апарату та розвиненішою прогнозуючою складовою. Технологія забезпечує інтеграцію процесу обробки даних із динамічною актуалізацією із відповідних джерел інформації вихідних умов та врахування зміни отримання якісних висновків, що створює надійну основу для програмного комплексу оперативного і поглибленого аналітичного аналізу інформаційних масивів.

Використання описаної технології обробки та аналізу достовірності інформації, що надходить з різних джерел, зводить до мінімуму вірогідність хибної оцінки. Автоматична фільтрація потоків дозволяє оперативно отримувати інтегральну інформаційну картину, а для детального вивчення інформації, що надходить, може використовувати потужний пошуковий механізм із побудовою складних запитів.

6.4. МЕТОДИКА ФІЛЬТРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОВІДОМЛЕНЬ ІНТЕРНЕТ-ДЖЕРЕЛ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

На теперішній час значного розвитку набули інформаційні технології. Основною складовою інформаційної сфери є віртуальний простір, прикладом його консолідуючого елемента може бути всевітня мережа Інтернет, кількість користувачів якої зростає кожного дня, а об'єм доступної інформації становить сотні тисяч терабайтів. Тому за сучасних умов інформаційна складова набуває дедалі більшої ваги і стає одним із найважливіших елементів забезпечення інформаційної безпеки. Виявлення інформаційних загроз потребує швидкої та якісної обробки значних об'ємів інформації, що підвищує ефективність управлінських рішень стосовно реагування на загрози [100].

Реалізація зазначених заходів передбачає використання складних програмно-апаратних систем пошуку інформації, які містять об'ємні бази даних і знань. Тому забезпечення точності визначення спрямованості документів є достатньо складною проблемою для людини, що полягає у неоднозначності вибору відносно належності сегмента даних до однієї із категорій конкретного текстового документа. Це обумовлює необхідність обробки великої кількості текстових документів, суть яких може стосуватися всього спектра процесів життєдіяльності суспільства. Тому створення методики і відповідного програмного забезпечення, яке б надавало змогу фільтрувати та класифікувати необхідну інформацію мережі Інтернет, на сьогодні актуальне та необхідне науково-прикладне завдання.

Сучасний рівень розвитку програмно-апаратних засобів уможливив ведення баз даних оперативної інформації на різних рівнях управління. Для того, щоб вони сприяли прийняттю управлінських рішень, інформація повинна бути подана аналітику в потрібній формі, адже вона вміщує у собі

великі потенційні можливості щодо виявлення корисної аналітичної інформації, на основі якої можна визначити приховані тенденції інформаційних загроз [107]. Для цього існує значна кількість систем глибокого аналізу текстів як убудованих в інші більш комплексні системи, так і автономних. Вони розроблені на основі статистичного і лінгвістичного аналізу, а також штучного інтелекту та призначені для проведення контентного аналізу, забезпечення навігації та пошуку в неструктурованих базах даних.

До існуючих програмних засобів цього напрямку належать такі системи: Intelligent Miner for Text (IBM), TextAnalyst, Text Miner (SAS), SemioMap (Semio Corp.), Galaktika-ZOOM (корпорація “Галактика”), InfoStream (інформаційний центр “ЕЛВІСТІ”). Такі системи мають розвинені графічні інтерфейси, надають доступ до різних джерел даних, функціонують в архітектурі клієнт-сервер та надають можливості зображення і візуалізації результату [77].

Основним їх недоліком є надлишковість знайденої інформації у відповіді на запит користувача, що є результатом дублювання інформації та її невідповідності запиту. Причиною цього є те, що система не в змозі визначити, чи відповідає зміст даного документа інформаційним потребам конкретного користувача [71, 80].

Метою досліджень є розробка методики фільтрації інформаційних повідомлень Інтернет-джерел та їх класифікація для реалізації можливості виконання завдань автоматизованої обробки інформації відкритих джерел інформаційно-телекомунікаційної мережі Інтернет.

Автоматичні системи інформаційного пошуку використовують для зменшення “інформаційного перенавантаження”. Пошукова система переглядає всі доступні інформаційні одиниці (документи) зі збірки і відбирає документи відповідно до інформаційного запиту. Оскільки реальні пошукові системи знаходять не всі відповідні документи, то можна говорити про точність пошукових систем. Результатом роботи пошукової системи є список відібраних документів, серед яких є відповідні до запиту. Для ідеальної пошукової системи списки відібраних документів та відповідних до запиту повинні збігатися. У реальних пошукових системах у списках відібраних документів знаходяться і невідповідні до запиту [71]. Фільтрація інформаційних повідомлень здійснюється не тільки для визначення відповідності, але і для розв’язання проблем, які пов’язані з неоднозначністю мови – один і той самий термін може позначати різні концепти, один і той же концепт може позначатись різними термінами.

Загалом зміст процедури фільтрації – це алгоритм, який, переглядаючи набір документів (D_1, D_2, \dots, D_n) , встановлює їх відповідність до пошукового запиту (ПЗ). Оскільки пошуковий термін зустрічається в документах

різну кількість разів, можна говорити про різний ступінь відповідності до ПЗ. Цей алгоритм обчислює коефіцієнт відповідності (КВ) для кожного документа (ПЗ, D_i), де $1 \leq i \leq n$. Технологізація інформаційних процесів актуалізує методи й методики пошуку та отримання інформації в новому інформаційному середовищі Інтернет, які відрізняються від традиційних і мають іншу класифікацію. Процедура отримання інформації в мережі Інтернет здійснюється поетапно (рис. 6.11) [21, 71, 80]:

- I етап – визначення предмета пошуку (що необхідно знайти);
- II етап – складання списку ключових слів (створення запиту);
- III етап – вибір інформаційного простору (вибір місця для пошуку);
- IV етап – визначення інструменту пошуку (вибір програмного забезпечення);
- V етап – попередній пошук (результат першого запиту);
- VI етап – аналіз одержаної інформації (вивчення одержаної інформації та корегування запиту);
- VII етап – додатковий пошук інформації (здійснення подальшого пошуку, доки не знайдеться бажаний результат).
- VIII етап – збереження знайденої інформації у спеціалізованій базі даних;
- IX етап – обробка знайденої інформації (фільтрація);
- X етап – відображення інформації в необхідній для користувача формі може здійснюватися у вигляді стовпчастої діаграми [71, 80, 107].



Рис 6.11

Бажано також визначити час, за який буде здійснюватися пошук інформації, оцінити альтернативні способи одержання інформації і ступінь її важливості у контексті визначеної проблеми.

Математичне підґрунтя алгоритмів обробки текстових повідомлень для блоку “Контекстна обробка інформації” включає такі методи: метод опорних векторів, метод найближчих сусідів, метод Роше.

У *методі опорних векторів* кожний документ відображається як вектор у багатовимірному просторі, кожний вимір якого відповідає квантитативній характеристиці лексем зі словника аналізованих текстових масивів [71].

Для визначення належності до тематики скористаємось скалярним добутком векторів, звідки ми знаходимо кут між тематичним і текстовим векторами за виразом 6.14.

Документ для розгляду відбирається за мінімальним значенням величини $\cos \alpha$.

Алгоритм “найближчого сусіда” починається в довільній точці та поступово відвідує кожну найближчу точку, яка ще не була відвідана. Пункти обходу плану послідовно включаються до маршруту. Причому кожен черговий пункт, що включається до маршруту, повинен бути найближчим до останнього вибраного пункту серед усіх інших, ще не включених до складу маршруту. Алгоритм завершується, коли відвідано всі точки [71, 80]. Точками маршруту є контентні складові документа.

Вхідні дані для множини точок V розмірністю N . Вихідні дані: маршрут T , що складається з послідовності відвідування точок множини V . Послідовність роботи алгоритму “найближчого сусіда” включає:

- 1) вибрати довільну точку V_1 ;
- 2) $T_1 = V_1$;
- 3) для $i = 2$ до $i = N$ виконати;
- 4) вибрати точку V_i , найближчу до точки V_{i-1} ;
- 5) $T_i = V_i$;
- 6) $T \cdot N + 1 = V_1$;

7) кінець алгоритму та прийняття рішення про релевантне джерело [71]. Релевантне джерело обирається за мінімумом відстані V_i, T_{i-1} .

Метод Роше (класифікатор Роше) забезпечує рубрикацію документа, виходячи з його наближеності до еталона рубрик. Еталоном для рубрики c є вектор $w = (w_1, w_2, \dots, w_i)$ у просторі ознак, обчислений за формулою:

$$w = \frac{\alpha}{|POS(c)|} \sum_{d \in POS(c)} w_{di} - \frac{\beta}{|NEG(c)|} \sum_{d \in NEG(c)} w_{di}, \quad (6.25)$$

де $POS(c)$ та $NEG(c)$ – множина документів із навчальної вибірки, які належать і не належать до рубрики c відповідно.

w_{di} – вага i -ї одиниці документа d .

Зазвичай, додатні приклади набагато важливіші від від'ємних, тому $\alpha \gg \beta \gg \beta$. Якщо $\beta = 0$, то еталоном рубрики буде просто центроїд усіх її документів. Документ визнається релевантним, якщо відстань до еталона мінімальна.

Кожний алгоритм має свої недоліки та переваги, тому на основі цих методів була сформована узагальнена схема їх застосування.

Загалом задача фільтрації Інтернет-повідомлень полягає у реалізації процесу сортування файлів (інформаційних) масивів за частотою появи в них заданого контенту та зворотному аналізі заданого контенту (частота його появи), обмеженому в інформаційному полі. Кожен із наведених методів матиме свої результуючі оцінки щодо частоти появи контенту. Для підвищення точності результуючих оцінок пропонується отримати часткові оцінки за трьома методами та узагальнити їх у вигляді результуючої оцінки [112]. На підставі результату фільтрації визначається корисність Інтернет-повідомлення відносно заданого контенту і може бути створена відповідна база даних джерел інформації для заданого контенту. Така інформація надається користувачу.

Сутність їх застосування полягає у цілісному зваженому врахуванні кожного із трьох рішень, отриманих за методами опорних векторів, “найближчого сусіда” та класифікатора Роше. Для цього застосовується багатокритерійний підхід, запропонований у роботі (див. рис. 6.12)[112].

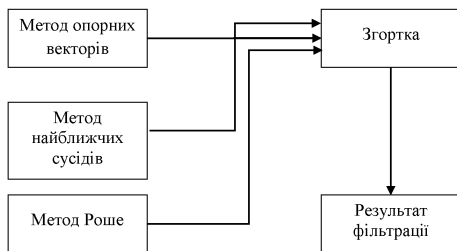


Рис. 6.12

Згідно з методикою багатокритерійного порівняльного аналізу, перш за все, встановлюється образ (еталон), відносно якого здійснюється ідентифікація певного об'єкта. Образом може виступати еталон результату фільтрації із сукупністю характеристик або сукупність критерійних вимог із визначення релевантного джерела. Об'єктом ідентифікації є довільний

результат фільтрації. Надалі для образу й об'єкта ідентифікації встановлюється множина ознак, якими є значення частот появи повідомлення або критерійні вимоги до них. Тоді задачу ідентифікації можна розглядати як багатокритерійну з подальшим формуванням узагальнених ознак образу та об'єкта ідентифікації. Порівнюючи узагальнену ознаку об'єкта ідентифікації з еталоном можливо встановити міру відповідності між ними та визначити джерела інформаційних повідомлень за їх релевантністю [112].

Сукупність ознак еталона задається множиною T_i у кількості N

$$S_E = \{T_i\}, i = 1 \dots N. \quad (6.26)$$

Сукупність джерел з ознаками характеризується множинами

$$R_1\{T_j\}, R_2\{T_j\}, \dots, R_m\{T_j\}, j = 1 \dots N_1, N_2, \dots, N_k, \quad (6.27)$$

де N_1, N_2, \dots, N_k – кількість ознак m -го джерела. При встановленні для ідентифікації ознак образу та об'єкта (джерела) у вигляді критерійних вимог множини (6.26), (6.27) трансформуються до вигляду:

$$\begin{aligned} S_E &= \{T_1 \rightarrow \text{extr}, \dots, T_i \rightarrow \text{extr}, \dots, T_N \rightarrow \text{extr}\}, \\ R_1 &= \{T_{11} \rightarrow \text{extr}, \dots, T_{1j} \rightarrow \text{extr}, \dots, T_{1N_1} \rightarrow \text{extr}\}, \\ R_2 &= \{T_{21} \rightarrow \text{extr}, \dots, T_{2j} \rightarrow \text{extr}, \dots, T_{2N_2} \rightarrow \text{extr}\}, \\ R_m &= \{T_{m1} \rightarrow \text{extr}, \dots, T_{mj} \rightarrow \text{extr}, \dots, T_{mN_k} \rightarrow \text{extr}\}. \end{aligned} \quad (6.28)$$

Надалі здійснюється об'єднання сукупності ознак (6.27) до узагальненої ознаки згідно із згорткою проф. Вороніна А. М. для дискретних параметрів. Порівняно з іншими схемами оптимізації згортка за нелінійною схемою компромісів має такі переваги: оптимізаційні задачі розв'язуються за наявності обмежень, у яких гарантується унімодалність функції узагальненого критерію; відносно невелика обчислювальна складність алгоритму пошуку рішення. Згортка для дискретно заданих часткових критеріїв має вигляд

$$Y(y_0) = \sum_{f=1}^b \gamma_{0f} (1 - y_{0f})^{\lambda} \rightarrow \min, \quad (6.29)$$

де $f = 1 \dots b$ – кількість включених у згортку часткових критеріїв;

γ_{0f} – нормований ваговий коефіцієнт;

y_{0f} – нормативний частковий критерій [112].

Згідно із згортою (6.28) формуються узагальнені ознаки образу та об'єкта (об'єктів) ідентифікації з нормованими ознаками, що у прийнятих позначеннях має вигляд

$$P_l = \sum_{j=1}^{N, N_1, N_2, \dots, N_k} \gamma_{0lj} [1 - T_{0lj}]^{-1}, T_{0lj} = T_{lj} \left[\sum_{l=1}^m T_{lj} \right]^{-1}, l = 1 \dots m, \quad (6.30)$$

$$P_E = \sum_{i=1}^N \gamma_{0i} [1 - T_{0i}]^{-1}, T_{0i} = T_i \left[\sum_{i=1}^N T_i \right]^{-1}.$$

Результатом застосування згортки (6.29) є сукупність узагальнених ознак для образу та об'єктів ідентифікації $P_E, P_1, P_2, \dots, P_m$. Числові значення міри відповідності об'єкта ідентифікації образу розраховуються як відношення узагальнених оцінок:

$$W_1 = \frac{P_1}{P_E}, W_2 = \frac{P_2}{P_E}, \dots, W_m = \frac{P_m}{P_E}. \quad (6.31)$$

Таким чином, розроблена методика базується і відрізняється поданням та розв'язком задачі визначення релевантних джерел із використанням багатокритерійного підходу. При цьому сукупність ознак об'єкта ідентифікації та образу приводиться до узагальної ознаки згідно із згортою за нелінійною схемою компромісів. Методика дозволяє розв'язувати задачу пошуку релевантного джерела як за переліком ознак, так і за вектором критерійних вимог [60, 112].

Приклад застосування методики фільтрації інформаційних повідомлень мережі Інтернет має на меті розв'язання типової задачі такого запиту. Нехай за стрічкою інформаційних повідомлень, отриманих з веб-сайтів (www.comments.ua, www.gazeta.ua, www.feedsnews.ru), необхідно визначити активність інформаційної блогосфери щодо політичної обстановки та новітнього озброєння світу.

Використовуючи програмну реалізацію, почергово вирішуємо завдання. Після проведення аналізу інформації надається можливість завдяки програмній реалізації формування діаграми подібності з огляду на задачу (рис. 6.13).

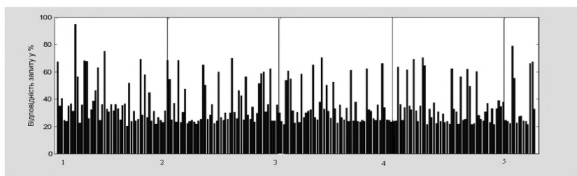


Рис. 6.13

Цифрами позначено інформаційні контенти за пошуком інформаційних джерел Інтернету. Підсумком проведеного прикладу реалізації цільового завдання з використанням програми фільтрації інформаційних повідомлень було сформульовано типову задачу з використанням програмної реалізації.

Результатом виконання задачі є формування стовпчастої діаграми, що показує процентну відповідність публікації до заданого запиту та дає можливість побачити, яка з публікацій більш доцільна.

Таким чином, у ході досліджень запропоновано методика фільтрації інформаційного повідомлення глобальної мережі, яка має актуальне спрямування, тому що існує велика кількість інформації, що потребує структуризації. Ознакою запропонованої методики є використання методу багато-критерійного порівняльного аналізу, який ґрунтується на зіставленні альтернатив. Запропонована методика доведена до практичного результату – розробленої програми фільтрації інформаційних повідомлень та їх класифікації. Практика її застосування довела дієвість запропонованих підходів.

6.5. МЕТОДИКА РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНО-ДОВІДКОВИХ СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ АНАЛІТИЧНОЇ РОБОТИ

Розвиток інформаційних технологій призвів до пікового інформаційного навантаження щодо аналізу поточної ситуації для прийняття ефективних управлінських рішень у багатьох сферах, таких як: економіка (виробнича і торговельна сфери); діяльність виконавчих органів влади різного рівня (загальнодержавного або місцевого); системи керування рухом (повітряними чи наземними об'єктами); військова сфера тощо [46]. Одним із етапів вироблення управлінських рішень є аналітична обробка інформації про поточну обстановку, ретроспективний аналіз раніше накопичених даних для формування концентрованого висновку – ефективних, своєчасних і достовірних рішень в умовах ситуації, що склалася. Динамічність процесів у сучасних системах управління, велика розмірність поля (множин) об'єктів управління, їх критичність щодо ефективності кінцевих рішень, з одного боку, та інертність ергатичної складової таких систем, з іншого, породжують конфлікт вимог і можливостей, що робить актуальним завдання автоматизації аналітичної роботи.

Можливим шляхом автоматизації може бути розробка та впровадження в етапи ІАР спеціалізованих ІДС.

Аналіз результатів, отриманих у галузі інформаційних технологій, показує досить поширену практику використання ІДС для автоматизації ІАР [23, 46, 107, 124]. Однак у кожному конкретному випадку розробнику ІДС

необхідно створити свій унікальний порядок дій для отримання ефективної програмної реалізації ІДС залежно від галузі її застосування.

Тому метою досліджень є встановлення уніфікованого порядку дій у вигляді методики розробки ІДС для автоматизації аналітичної роботи.

Досягнення сформульованої мети вбачається в реалізації взаємопов'язаного синергетичного розгляду етапів, що відображають процеси: загальнонаукових досліджень; аналітичної обробки інформації; створення спеціалізованих баз даних (БД) та ІДС; розробки та реалізації алгоритму роботи ІДС оцінювання ефективності складних систем і процесів.

Виходячи із результатів формалізації завдання дослідження, сформовано методику розробки ІДС для автоматизації аналітичної роботи, зміст етапів якої подано у вигляді структурної схеми на рис. 6.14.

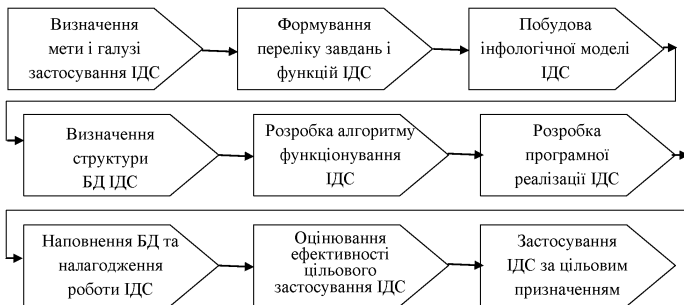


Рис. 6.14

Реалізація етапів запропонованої методики полягає ось у чому:

1. *Визначення мети і галузі застосування ІДС* передбачає: поглиблений попередній аналіз етапів, спрямованих на отримання кінцевого завдання ІАР, відповідно до галузі її застосування; розподіл повноважень між фахівцем-аналітиком та ІДС, визначення загального сценарію роботи ІДС.

2. *Формування переліку завдань і функцій ІДС* має на меті реалізацію евристичного процесу визначення кортежу завдань, сукупності функцій, що їх реалізують і безпосередньо повинні здійснюватися системою, включаючи попередньо здійснений розподіл їх за автоматизацією та ручною обробкою.

Загалом існує декілька підходів щодо побудови інтелектуальних систем аналізу інформації, якими і є ІДС [107]. Разом з тим головним компонентом цих систем є БД, процеси її створення, функціонування та збору

всієї необхідної інформації, а надалі – надійна та якісна робота, оновлення та заповнення інформації. Процес автоматизації ІАР в аспекті накопичення, каталогізації, зберігання і маніпулювання інформацією повинен обов'язково включати у себе:

накопичення, підтримку в робочому стані сукупності відомостей, які складають інформаційну базу всієї ІДС або деякого набору задач, що в ній розв'язуються;

забезпечення доступу до інформації, яка зберігається у БД ІДС;

забезпечення потрібного рівня керування використанням відомостей, які містяться в БД, з необхідним розмежуванням доступу і безпеки.

У процесі побудови та створення БД важливим кроком є визначення її типової структури державних органів управління, яка створюється після проведення аналізу вже існуючих систем та є підґрунтям для побудови інфологічної моделі (рис. 6.15).

3. *Побудова інфологічної моделі ІДС* є основою для створення БД ІДС, оскільки вона дає формалізоване уявлення предметної області застосування ІДС та процесу автоматизації ІАР у вигляді причин і наслідків. Інфологічна модель може бути оформлена у вигляді таблиці, структурної схеми чи блок-схеми.

БД – це впорядкований набір логічно взаємопов'язаних даних, що використовуються спільно та призначені для задоволення інформаційних потреб користувачів.

Етапність проектування БД пов'язана з багаторівневою організацією даних чи їх подання: внутрішнього, зовнішнього, інфологічного, логічного (патологічного).

Основною складовою інфологічної моделі є атрибути, які необхідно проаналізувати і певним чином згрупувати для подальшого зберігання в БД. Сутність інфологічного моделювання полягає у виокремленні інформаційних об'єктів, які підлягають зберіганню в БД, а також визначенні характеристик об'єктів і зв'язків між ними. Характеристиками чи властивостями об'єктів є атрибути. Основними складовими елементами інфологічної моделі є інформаційний об'єкт, атрибут, запит, питальний і структурний зв'язок.

4. *Визначення структури БД ІДС* ґрунтуються на головному завданні БД – гарантованому збереженні значних об'ємів інформації та наданні доступу до неї користувачам-аналітикам і прикладній програмі управління БД. Тому БД ІДС складатиметься із двох частин: безпосередньо інформаційного масиву та системи управління. Конкретика структури зазначених складових у повному обсязі визначається особливістю предметної області ІАР (рис. 6.15).



Рис. 6.15

5. *Розробка алгоритму функціонування ІДС* безумовно ґрунтується на результатах виконання попередніх етапів запропонованої методики, але основна мета цього етапу – визначення сценарію спілкування “аналітик – ІДС” (рис. 6.16).

6. *Розробка програмної реалізації ІДС* передбачає вирішення двох завдань: вибір програмного середовища для створення ІДС; безпосередня розробка програмного середовища БД та ІДС.

7. *Наповнення БД та налагодження роботи ІДС* полягає в реалізації етапу навчання інтелектуальної ІДС. Наповнення БД – це є достатньо кропіткий і певною мірою безперервний процес супроводження ІДС.

8. *Оцінювання ефективності цільового застосування ІДС* ґрунтується на проведенні багатокритерійного оцінювання ефективності функціонування ІДС із застосуванням для обробки інформації статистичних методів та багатокритерійного аналізу. Цей етап за своєю сутністю передбачає організацію зворотного зв’язку для решти етапів, якщо отримані результати не відповідають вимогам ефективності цільового застосування ІДС [110, 111].

9. *Застосування ІДС за цільовим призначенням* передбачає якісну, вчасну та ефективну організацію роботи системи щодо вирішення завдань за призначенням з ітераційним формуванням вимог до вдосконалення й оновлення розробленого зразка і порядку його застосування для автоматизації ІАР.

Приклад застосування запропонованої методики втілюється в розробленій ІДС. Дана система була реалізована в програмному середовищі Delphi 7 та середовищі для створення БД Microsoft Access, що контекстно

взаємодіють між собою. Практичне використання розробленої ІДС для вирішення цільових завдань ІАР довело її працездатність та ефективність.

Для практичної апробації методики було здійснено розробку ІДС “Структура державних органів управління країн першого пріоритету”. Розкриваємо етапи запропонованої методики та з’ясовуємо можливості ІДС.

1. Безпосередньо для ефективного створення БД розроблено інфологічну модель.

Ідеологія формування інфологічної моделі, на нашу думку, реалізується за допомогою функціонування структури БД ІДС (рис. 6.16). Принцип роботи полягає у взаємозв’язку самої програми та підключеної БД. Система управління БД формується та ведеться в програмному середовищі Microsoft Office Access. Таблиці створюються за допомогою конструктора. Нами розроблено 10 таблиць у БД, кожна з яких містить свої поля, що відповідають за певну тематику. Всі функції виконує програмний продукт, що звертається до системи, а саме: додавання, редагування, збереження, виведення інформації, формування документа.

Отже, розробка інфологічної моделі є важливим етапом роботи, оскільки забезпечує інформаційне підґрунтя ІДС.

2. Розробка алгоритму функціонування ІДС ґрунтується на результатах виконання попереднього етапу запропонованої методики.

Згідно з поставленою метою та задля вирішення необхідних завдань, визначених для правильної роботи ІДС, було розроблено алгоритм, який складається з дев’ятнадцяти блоків, сукупність та правильне розташування яких реалізує правильну роботу програми відповідно до умов, заявлених для коректного її функціонування (рис. 6.17).

У блоках 1–4 відображено процедуру авторизації, після чого відповідальність за подальшу роботу несе блок 5, наступним кроком є виведення головної ІДС. Особливість цієї сторінки полягає в тому, що подальший перегляд користувачем системи залежить саме від нього. Блоки 7–9 формують умову вибору визначених країн та рубрик ІДС. У блоках 10–11 відбувається звернення до БД програми на вимогу користувача. Після чого показник виконання алгоритму переходить до блоків 12–13, у яких реалізовано виведення інформації на екран, яка зберігається в БД та викликається на вимогу користувачу. Можливість додавання та редагування інформації реалізується у блоці 14. Блоки 15–16 виконують функції додавання та редагування інформації та зберігають її у БД. Якщо така необхідність відсутня, то виконується функція її роздрукування з довідкової системи (блок 17), це відбувається у вигляді вікна вибору країни та інформації, яку необхідно сформувати в документ та роздрукувати (блок 18). Завершення роботи з програмою реалізує блок 19.



Рис. 6.16

Отже, вивчення інформаційних процесів зумовлює необхідність створення ІДС, яка і буде “своєрідним інструментом” аналізу та вивчення інформації в ІАД. У даній статті наведено реалізацію алгоритму роботи ІДС за напрямком “Структура державних органів управління країн першого пріоритету”, що і є найбільш доцільним та актуальним із метою вивчення перебігу економічних процесів, визначення перспектив розвитку сусідніх регіонів та підтримання власних, підвищення діяльності органів місцевого рівня, а також у навчальних цілях для підготовки висококваліфікованих фахівців у галузі економіки, політології, ІАР, в галузі інформаційної безпеки.

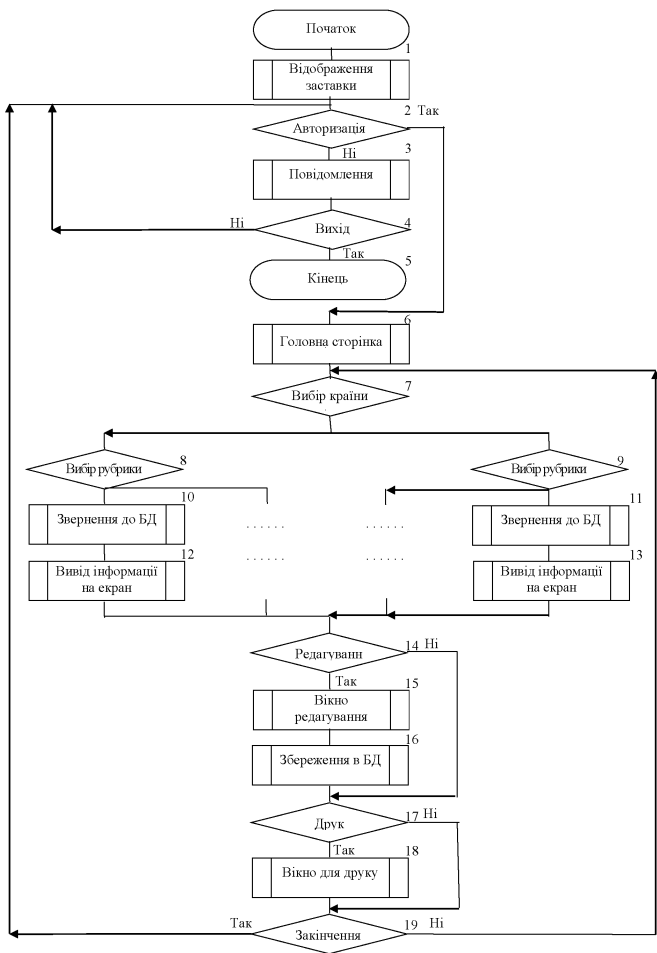


Рис. 6.17

У ході досліджень запропоновано уніфікований порядок дій – методу розробки ІДС для автоматизації ІАР. Її особливістю є інтеграція взаємопов'язаного синергетичного розгляду етапів, що відображають процеси: загальнонаукових досліджень; аналітичної обробки інформації; розробки спеціалізованих БД та ІДС; оцінювання ефективності складних систем і процесів. Запропонована методика доведена до практичного результату: розроблено ІДС “Структура державних органів управління країн першого пріоритету”. Практика її застосування довела дієвість запропонованих підходів.

6.6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ ОПЕРАТИВНОЇ ОБСТАНОВКИ НА ВЕКТОРНУ КАРТУ МІСЦЕВОСТІ

Аналіз сучасного стану розвитку збройних сил провідних країн світу показує, що постійна увага приділяється підвищенню рівня інформаційно-технічного забезпечення власних військ у зв'язку зі зростанням ролі використання інформації в сучасних війнах та збройних конфліктах. В умовах стрімкого розвитку озброєння й військової техніки, а також зростання динаміки бойових дій доволі швидко змінюється поточна ситуація, що вимагає негайних та точних змін на засобах наочного відображення обстановки – робочій карті командирів різної ланки управління. На сьогоднішній день зростають масштаби застосування цифрових карт у ході планування та ведення бойових дій, які значно полегшують порядок оформлення картографічних документів подання та обміну геопросторовою інформацією. Використання таких карт створює умови для надійного збереження даних, зручного відображення у різних масштабах, швидкого нанесення обстановки та оперативного обміну геоінформаційними сегментами. Для роботи з цифровими картами призначені програмні продукти – геоінформаційні системи (ГІС), які широко застосовуються провідними країнами в різних галузях, особливо у військовій сфері. Універсальність традиційних ГІС та неврахування специфіки конкретних практичних галузей їх застосування, а також тенденції розвитку сучасних засобів підтримки ведення бойових дій роблять актуальною задачу автоматизації процесу нанесення оперативної обстановки на векторну карту місцевості.

Сучасні тенденції використання та подання геопросторової інформації полягають ось у чому:

застосування геопросторових даних здійснюється для проведення розрахунків у різних галузях науки і техніки [29, 30, 108] як складових систем підтримки прийняття рішень (СППР) чи інтелектуальних систем [40, 107, 141];

відображення даних реалізується у цифровому вигляді з використанням стандартних чи спеціалізованих програмних засобів [108].

У кожному конкретному випадку розробнику системи автоматизації роботи з цифровою картою необхідно евристично обґрунтовувати причину обрання того чи іншого шляху – стандартні програмні засоби чи унікальні підходи щодо роботи з геопросторовими даними. Зазначене є характерним недоліком усіх відомих підходів щодо автоматизації нанесення поточної обстановки на цифрову карту. Це, у свою чергу, спонукає до вироблення загальної технології розв’язання задач автоматизації нанесення геопросторових даних на цифрову карту з використанням спеціалізованого програмного додатка.

Метою досліджень є розробка технології побудови програмного додатка автоматизації процесу нанесення обстановки на векторну цифрову карту місцевості для підвищення оперативності оформлення бойових документів та ефективного обміну поточними даними про обстановку.

Для досягнення поставленої мети необхідно здійснити розв’язання сукупності часткових науково-прикладних задач: обрати базу ГІС; визначити перелік функцій, що мають виконуватись автоматизовано в разі нанесення обстановки обраним програмним засобом; побудувати алгоритм автоматизації процесу нанесення обстановки, а також програмно реалізувати розроблений алгоритм.

У загальному випадку процес автоматизованого формування цифрової карти із нанесенням поточної обстановки можливо подати у вигляді структурної схеми, зображеної на рис.6.18.

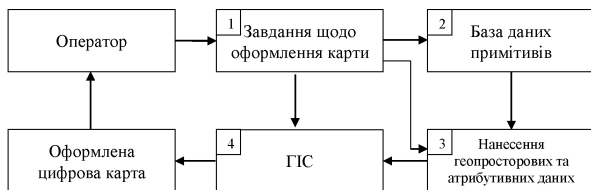


Рис.6.18

Надане оператору початкове завдання із картографування зазнає деконпозиційного аналізу з його боку та поділяється на підзадачі (блок 1). Сукупність часткових завдань для нанесення обстановки повинна узгоджуватись із закладеними в програму можливостями. Надалі з використанням базової ГІС (блок 4) та на підставі заздалегідь сформованої бази даних (БД)

примітивів (блок 2) шляхом застосування розробленого програмного додатка (блок 3) формується результуюча (оформлена) цифрова карта із нанесеною оперативною обстановкою. Як отриманий результат вона надається оператору.

Вибір базової ГІС. Геоінформаційна система – це спеціалізована програмна система збору, зберігання, аналізу й графічної візуалізації просторових даних, а також пов'язаної з ними інформації про об'єкти, що розташовані на місцевості. У більш вузькому сенсі ГІС – інструмент у вигляді програмного продукту, що дозволяє користувачам створювати, аналізувати й редагувати цифрові карти, а також одержувати визначену інформацію про об'єкти. Основними структурними елементами ГІС є дані (географічні – у вигляді координат про місце розташування об'єкта на земній поверхні; атрибутивні – семантичний опис об'єктів), апаратне забезпечення (ПЕОМ, сервери, мережі, накопичувачі), програмне забезпечення, технології та навчений персонал. На сьогоднішній день існує широкий спектр програмного забезпечення ГІС. Сполучені Штати Америки та Російська Федерація займають провідні позиції у розробці багатofункціональних ГІС-продуктів. Найбільш поширеними є ESRI ArcGIS, MapInfo, GeoGraph, WinGIS/WinMAP, Panorama, ИнГЕО [54]. Зазначене програмне забезпечення відрізняється призначенням, функціональними можливостями та сферами використання. Вищевказані програмні продукти ГІС володіють великим набором інструментів, що дозволяють вирішувати різнопланові завдання.

Широке поширення Інтернет-технологій, розвиток систем управління базами даних, використання об'єктно-орієнтованих мов програмування, розробка мобільних комп'ютерів призвели до нового бачення ролі й місця ГІС-технологій. Саме серія продуктів ArcGIS розроблена відповідно до цих вимог сучасності. ArcGIS надає масштабоване середовище для роботи з ГІС як для окремих користувачів, так і груп користувачів, на серверах, через Інтернет, а також у польових умовах [148]. Також ArcGIS надає значні можливості щодо розробки додаткових утиліт, модулів та інструментів, використовуючи мови програмування Visual C#, Visual C++, Visual Basic Script та інші. Це дає змогу розробляти спеціалізовані ГІС-продукти з функціями, що відповідатимуть вимогам користувача. Тому, виходячи із аналізу сучасних ГІС, для розробки технології побудови програмного додатка автоматизації процесу нанесення обстановки на векторну цифрову карту місцевості обрано як базовий програмний комплекс ArcGIS.

Загалом процес нанесення обстановки на векторну карту можливо здійснити двома способами: з використанням вбудованих засобів ГІС та з

використанням програмних додатків. У статті розглядається другий спосіб, оскільки в процесі тестування програмних засобів ArcGIS була виявлена низка незручностей стосовно розв'язання специфічних задач оперативного нанесення обстановки, а саме:

- великі витрати часу на створення сховища даних;

- значна складність операцій редагування атрибутивної інформації;

- відсутність необхідних стандартних символів – примітивів для нанесення обстановки;

- відсутність можливості присвоєння об'єктам умовних графічних позначень, що використовують у своїй діяльності командири військових підрозділів.

Розробці програмного додатка повинен передувати процес встановлення його системних функцій – функцій автоматизації нанесення обстановки.

Визначення функцій, що мають виконуватись автоматизовано при нанесенні обстановки. Перелік функцій, що підлягають автоматизації, визначається завданнями, що постають перед користувачем ГІС-продукту. При нанесенні обстановки головним показником ефективності є мінімум витрат часу на оформлення картографічних документів. Виходячи із виявлених незручностей при нанесенні обстановки вбудованими засобами програмного комплексу ArcGIS, визначено, що розроблений програмний додаток повинен виконувати автоматизовано такі функції:

- побудова бази геоданих;

- вибір та нанесення необхідного геопросторового об'єкта;

- заповнення атрибутів нанесеного об'єкта;

- присвоєння умовного графічного позначення нанесеному об'єктові.

Для реалізації вказаних функцій необхідно побудувати алгоритм автоматизації процесу нанесення обстановки, а також розробити його програмну реалізацію.

Побудова алгоритму автоматизації процесу нанесення обстановки на векторну карту. Використання програми ArcMap забезпечує можливість створення бази даних та редагування атрибутивної інформації в ручному режимі. Програмний комплекс ArcGIS дозволяє створити структуру представлення об'єктів у вигляді баз геоданих (БГД), які є реляційними базами даних для зберігання геопросторової інформації. БГД – розроблена компанією ESRI об'єктно-орієнтована модель даних, що представляє географічні об'єкти та атрибути у вигляді об'єктів та відношень між ними. БГД включають класи (шейп-файли) просторових об'єктів і таблиці. Такі класи зберігають географічні об'єкти, що зображені за допомогою точок, ліній,

полігонів та їх атрибутів. БГД дозволяє переглянути порядок розміщення та збереження об'єктів, з'ясувати їх атрибути [1-3].

Отже, для автоматизації процесу нанесення обстановки шляхом створення спеціалізованого програмного продукту слід розробити специфічну для цього процесу модель геоданих. Для цього розроблено структуру – модель представлення геопросторових даних (рис. 6.19), що зберігатиметься у вигляді БГД.

Модель має дворівневу ієрархічну структуру. БГД створюється програмно та включає два класи об'єктів: сили та засоби суб'єкта протиборства (СЗСП), а також сили та засоби об'єкта протиборства (СЗОП). Кожен із цих класів включає аналогічні за структурою точкові, лінійні та полігональні шейп-файли. Під час нанесення обстановки на карту інформація про об'єкти вноситься до відповідних шейп-файлів БГД.

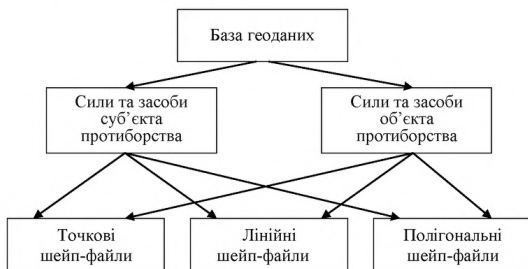


Рис. 6.19

На основі побудованої моделі представлення даних розроблено алгоритм автоматизації процесу нанесення обстановки на векторну карту місцевості, який відображено на рис. 6.20.

Робота алгоритму проходить у такі етапи. У блоці 1 виконується запуск програмного середовища ArcMap, у якому відбуватиметься процес нанесення обстановки. Після запуску ArcMap необхідно створити середовище збереження даних, що показано у блоці 2. При цьому перевіряється, чи існує з таким ім'ям БГД. Далі відбувається вибір елемента для нанесення та з'ясовується його приналежність (СЗСП чи СЗОП). Після цього об'єкт наноситься на карту і користувач самостійно заповнює всі атрибутивні дані об'єкта, як показано у блоці 7. В наступному блоці відбувається операція запису нанесеного об'єкта до БГД. Інформація про об'єкт зберігатиметься у тому шейп-файлі, до якого належить об'єкт. У блоці 9 об'єктові присвоюється умовне графічне позначення.

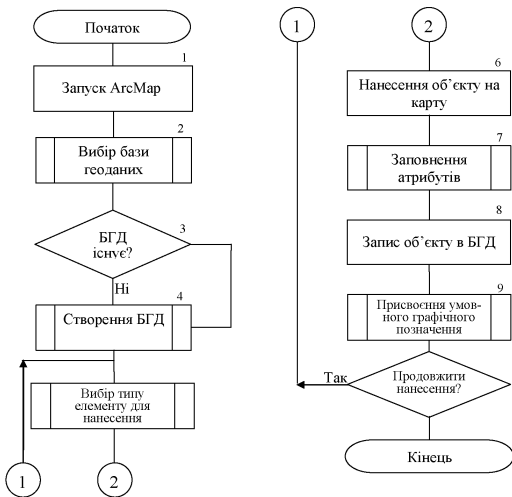


Рис. 6.20

Розробка програмної реалізації алгоритму автоматизації процесу нанесення оперативної обстановки на векторну карту місцевості. Для реалізації алгоритму автоматизації процесу нанесення обстановки розроблено додаткові інструменти для програмного комплексу ArcGis. Дану задачу вирішено за допомогою інтегрованого середовища програмування Microsoft Visual Studio 2008, що має широкі можливості щодо роботи з цифровими примітивами й розробки додаткових утиліт для цифрових карт. Вони не потребують високих вимог до характеристик робочого місця та є зручними у користуванні. Програмна реалізація алгоритму автоматизації процесу нанесення обстановки включає три утиліти, для виклику яких розроблено додаткові інструменти програми ArcMap: “Створення БГД”, “Перелік умовних графічних позначень”, “Нанесення об’єкта на карту”. Перший із перерахованих інструментів призначений для автоматизованого створення БГД, що включатиме класи та шейп-файли згідно із побудованою моделлю даних (див. рис. 6.19). Інструмент “Перелік умовних графічних позначень” призначений для виклику вікна з назвами символів та обрання належності об’єкта (СЗОП чи СЗСП). Інструмент “Нанесення об’єкта на карту” розроблений для вибору із запропонованого списку

об'єкта, його нанесення на карту, заповнення атрибутивної інформації про цей об'єкт та присвоєння умовного графічного позначення.

Розроблена програмна компонента складається з бази геопросторових й атрибутивних даних, а також засобів управління ними, які реалізуються за допомогою проекту програми ArcMap 9.3 пакету ArcGis 9.3 та програмних додатків, створених в інтегрованому середовищі програмування Microsoft Visual Studio 2008. Пакет ArcGis 9.3 використовується як основа для візуального подання інформації, що нанесена на картографічні документи. Застосування Microsoft Visual Studio 2008 дозволяє реалізувати його можливості щодо оперування геопросторовими та атрибутивними даними.

Як векторну карту для нанесення обстановки можна використовувати шаблони карт, що мають розширення “*.mxt”. В ArcMap є кілька готових шаблонів карт для швидкої розробки вихідних документів карти, при цьому не витрачаючи час на підготовку та компонування.

Таким чином, можливо сформувати технологію побудови програмного додатка автоматизації процесу нанесення обстановки на векторну карту місцевості:

1. Вибір базової ГІС.
2. Визначення переліку функцій, що зазнають автоматизації.
3. Створення геопросторової моделі даних, що підлягає нанесенню (наприклад у вигляді рис. 6.19).
4. Обрання програмного забезпечення для розробки додаткових утиліт, що виконуватимуть необхідні (визначені) функції.
5. Побудова алгоритму автоматизації процесу нанесення обстановки на векторну карту місцевості (наприклад у вигляді рис. 6.20).
6. Здійснення програмної реалізації побудованого алгоритму (розробка для обраної базової ГІС додаткових утиліт (“Створення БГД”, “Перелік умовних графічних позначень”, “Нанесення об'єкта на карту”), що виконуватимуть визначений перелік функцій автоматизації).

Приклад застосування програми автоматизації процесу нанесення обстановки на векторну карту місцевості стосується розгляду конкретної задачі. Перед оператором поставлене завдання щодо нанесення соціально-політичної обстановки у визначеному районі (райони компактного проживання національних меншин). Необхідно здійснити розв'язання поставленого завдання з використанням розробленого програмного додатка.

Спочатку слід завантажити програму ArcMap пакета ArcGis 9.3. Для цього здійснюється звернення до папки встановлення програмного комплексу ArcGis (зазвичай це C:\ProgramFiles\ArcGis), далі відкрити папку Bin та запустити додаток ArcMap.exe. З'явиться вікно, що запропонує

створити новий документ, відкрити стандартний шаблон цифрової карти або вже створену цифрову карту, як показано на рис. 6.21.

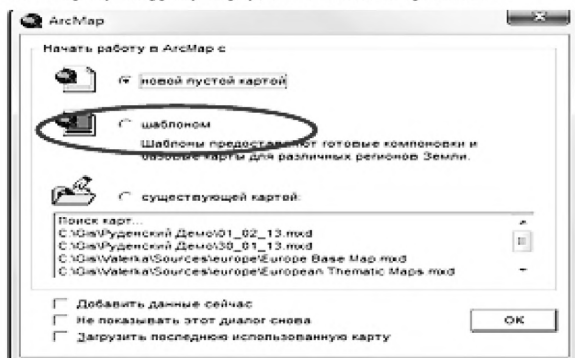


Рис. 6.21

Надалі необхідно обрати “шаблоном” та натиснути “ОК”. З’явиться вікно, зображене на рис. 6.22:

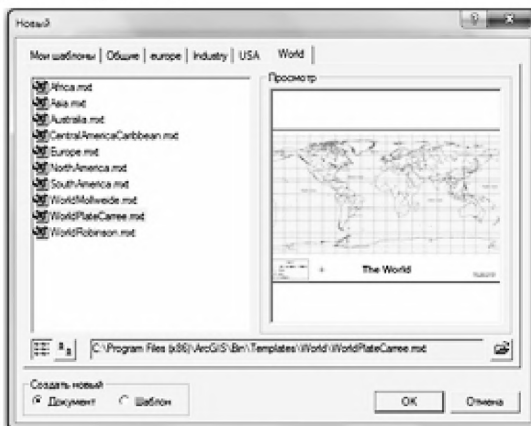


Рис. 6.22

У даному вікні потрібно обрати один із існуючих шаблонів та натиснути “ОК”.

Функція створення сховища геопросторової інформації реалізована розробленим інструментом “Створення БГД” [5]. При натисненні на даний інструмент автоматично створюється БГД за побудованою моделлю даних, яку можна переглянути у додатку ArcCatalog. При натисненні на розроблений інструмент “Перелік умовних графічних позначень” [7] відображається весь список назв умовних графічних позначень, як показано на рис. 6.23.

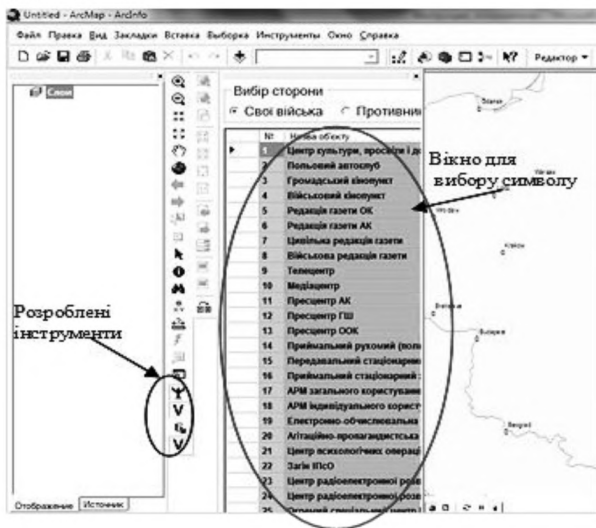


Рис. 6.23

Для обрання та нанесення об'єкта використовується розроблений інструмент “Нанесення об'єкта на карту” [5]. Для вирішення поставленого у прикладі завдання необхідно обрати символ “Район компактного проживання національних меншин”. Після завершення нанесення об'єкта автоматично відбувається перехід до вікна заповнення атрибутивних даних об'єкта (рис. 6.24), а також символу автоматично присвоюється умовне графічне позначення. Для більшої наочності прикладу нанесемо даний об'єкт кілька разів, змінюючи при цьому його атрибут “Назва меншини”.



Рис. 6.24

В результаті нанесена обстановка виглядатиме на карті так, як показано на рис.6.25:

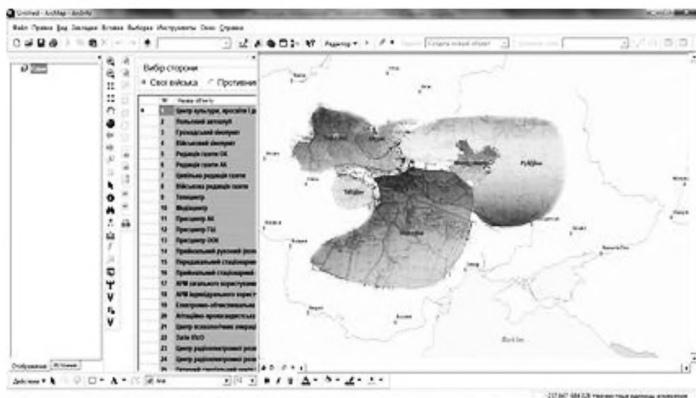


Рис. 6.25

Таким чином, розроблений програмний додаток дозволяє автоматизувати процес нанесення обстановки, робить зручнішим процес вибору об'єктів та редагування атрибутивної інформації, автоматизує процес створення сховища даних, що значно підвищує оперативність нанесення обстановки при оформленні картографічних документів та ефективність використання програмного комплексу ArcGis при вирішенні завдань нане-

сення обстановки. Розроблений програмний додаток автоматизації процесу нанесення обстановки може бути застосований у військових цілях для виконання завдань, пов'язаних із нанесенням обстановки, проведенням оцінки місцевості та оперативним збором географічних даних у визначеному районі.

Таким чином, для реалізації комплексу завдань протидії негативним інформаційним впливам розроблено технологічні засади побудови програмно-алгоритмічного комплексу як сукупності програмних додатків, що реалізують процеси: автоматизованого збору та аналітичної обробки даних від заданого переліку інформаційних джерел; фільтрації інформаційних повідомлень та їх класифікації; накопичення, систематизації, зберігання та маніпуляції цільовою інформацією; автоматизованого нанесення оперативної обстановки на карту цільового району. Комплексне застосування запропонованих програмних додатків забезпечує ефективне вирішення етапів моніторингу інформаційного простору, виявлення фактів інформаційного впливу, планування заходів протидії, їх реалізацію та оцінювання ефективності досягнутого результату.

6.7 МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЯВЛЕННЯ НЕГАТИВНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ВПЛИВУ В АВТЕНТИЧНИХ ТЕКСТАХ ЗА ДАНИМИ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ВІДКРИТИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

Поява нового класу загроз безпеці, які отримали назву “кібернетичні”, зумовлює необхідність розробки адекватних організаційних, технічних та правових заходів для протидії таким загрозам та їх стримування. Першочерговим кроком у цьому напрямку є створення систем виявлення КЗ, які здатні ідентифікувати небезпеку на етапі її зародження та раннього розвитку і сформувати пропозиції щодо протидії [46, 68, 86].

Існуючі системи виявлення КЗ, як правило, реалізуються у вигляді мікмережних екранів, систем захисту від несанкціонованого доступу, сканерів уразливостей, систем контролю цілісності, відстеження змін контрольованих процесів та аналізу журналів реєстрації [84]. Тобто функціональні можливості переважної більшості таких систем обмежуються аналізом мережного трафіка або параметрів роботи окремого вузла інформаційно-телекомунікаційної мережі [68, 79, 84, 86] з подальшим визначенням рівня невідповідності отриманих результатів встановленому еталону.

Разом з тим у [46] встановлено, що КЗ слід розглядати як фактори (події, явища) інформаційного, комунікаційного, комп'ютерно-мережного та соціотехнічного просторів (або їх комбінацію), які за умови їх умисного цілеспрямованого використання створюють небезпеку порушення процесів

управління, обробки та передачі інформації, що відбуваються у кібернетичних системах (КС) різних сфер (соціальної, технічної, соціотехнічної) або можуть зашкодити елементам таких систем. При цьому під КС розуміється впорядкована сукупність об'єктів (елементів), що взаємодіють із метою виконання певної функції та здатні обмінюватися інформацією [16]. Однією із найбільш поширених форм реалізації КЗ є здійснення негативного інформаційного впливу на цільову аудиторію (КС) шляхом розміщення у відкритих джерелах інформації матеріалів спрямованого змісту.

Наведене визначення та результати досліджень, викладені у [147], свідчать про наявність ознак КЗ не лише в комунікаційному та комп'ютерно-мережному просторі, а й в інформаційному та соціотехнічному середовищах. Тому окрім аналізу сигналів технічних систем виникає необхідність обробки відомостей, що розміщуються на відкритих інформаційних ресурсах. Враховуючи випереджаючі (порівняно з іншими джерелами) темпи зростання обсягів інформації, яка міститься в автентичних текстах відкритих ресурсів інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС) [10], актуальною є розробка методичного апарату виявлення КЗ шляхом обробки таких текстів.

Основна відмітність між відомими підходами до обробки ПМТ полягає у способах подання та аналізу змісту таких текстів. Один з підходів базується на припущенні, що основний зміст ПМТ визначається множиною ключових слів – термінів і понять, які до нього входять (Bag of Words) [10]. Такий підхід ігнорує лінгвістичну взаємозв'язність і семантику природної мови, однак дозволяє швидко виконувати операції обробки текстів за формальними ознаками. Обробка ПМТ за такого подання змісту базується переважно на статистичних та ймовірнісних моделях.

Інший підхід полягає в логіко-семантичній обробці ПМТ, що передбачає визначення їх змісту за рахунок аналізу граматики, використання баз знань і тезаурусів, які відображають семантичні зв'язки між окремими словами та групами слів [20]. У результаті такої обробки отримується формалізований опис змісту ПМТ, що дозволяє аналізувати його методами штучного інтелекту. Через суттєві витрати на підтримку баз знань і тезаурусів для кожної мови, тематики і виду документа, зазначений підхід застосовується, як правило, для розв'язання вузькоспеціалізованих задач [78], до яких належить і задача виявлення КЗ окремій системі.

Аналіз відомих методів виявлення КЗ дозволяє розподілити їх на дві основні групи [68, 79, 84, 86]:

сигнатурні методи (дозволяють виявляти загрозу за умови відомих параметрів, які її характеризують, та порогових значень цих параметрів);

методи виявлення аномалій (передбачають розробку профілю “безпечної” роботи КС, яка підлягає захисту, і постійний моніторинг відхилення поточних даних від нього).

Перевагою сигнатурних методів є висока достовірність (незначна кількість хибних виявлень загроз) і невисокі ресурсозатрати, але при цьому не забезпечується ідентифікація загроз, характеристичні параметри яких відсутні.

Методи виявлення аномалій дозволяють ідентифікувати як відомі, так і не відомі раніше загрози, однак не забезпечують високої достовірності результатів. Це зумовлено тим, що параметри загрози можуть збігатися з еталонними значеннями профілю “безпечної” роботи системи.

Для об’єднання переваг зазначених методів та компенсації притаманних їм недоліків застосовується принцип комплексування, що дозволяє забезпечити: можливість виявлення як відомих, так і нових видів КЗ; високу достовірність результатів; низьку ресурсозатратність [84].

Метою дослідження є розробка методики виявлення КЗ у формі негативного інформаційного впливу у ПМТ за даними засобів моніторингу відкритих джерел інформації шляхом логіко-семантичної обробки змісту таких текстів, яка комплексуватиме сигнатурні методи та методи виявлення аномалій і дозволить підвищити оперативність ідентифікації КЗ у формі негативного інформаційного впливу за рахунок автоматизації.

Усі відомі технології виявлення загроз базуються на: їх ознаках, які проявляються у просторі, що контролюється; джерелах інформації, у яких виявляються ці ознаки; методах аналізу інформації, отриманої з відповідних джерел [84]. Зазначені складові є об’єктивно необхідними для виявлення КЗ, тому вони підлягають обов’язковому визначенню для досягнення сформульованої мети дослідження.

Визначенню ознак КЗ передував аналіз реальних випадків їх прояву у формі негативного інформаційного впливу у повідомленнях, розміщених на відкритих ресурсах ІТС. За КС, відносно якої виявлялися КЗ, обрано Збройні Сили (ЗС) України як складну соціотехнічну систему. Результати дослідження дозволили виділити такі класи ознак:

1. Констатація в явній або неявній формі в тексті факту прямої загрози (небезпеки) КС, що захищається, або її складовим. Наприклад: *“Реформа Збройних сил України – це стратегія знищення української армії та флоту”* [49], *“атака СБУ спрямована на генералів та старших офіцерів [ГШ ЗСУ]”*, *“головна мішень – сам начальник Генштабу”* [142], *“...нищать життєво важливі структури нашої армії та флоту”* [26], *“иноземці ліквідуватимуть ... нашу армію”* [69].

Іншими словами, факти, що виражають пряму або опосередковану небезпеку КС або її складовим, свідчать про наявність загрози такій системі.

2. Наявність у ПМТ фактів, що не відповідають (або суперечать) образу усталеного (безпечного) функціонування КС, яка підлягає захисту. Наприклад: *“Збройні Сили України вже давно не можуть займатися властивими для себе обов’язками”* [142], *“наступит момент, когда армия будет окончательно небоеспособна”* [69], *“резкое сокращение численности армии [Украины]”* [136], *“...намагаються зупинити розробку і впровадження системи [управління військами] української розробки “Калина””* [59].

Тобто факти, що свідчать про відхилення від профілю безпечного функціонування КС у штатному режимі, вважаються такими, які містять ознаки КЗ.

Решта можливих проявів КЗ у ПМТ або може бути зведена до визначених класів, або не підлягає формальному опису, а тому не враховується у майбутніх дослідженнях з огляду на їх нечисленність.

Принциповою особливістю аналізу ПМТ є те, що його предметом виступають знання про предметну область, які розкриваються у змісті текстів. Завдання розпізнавання, добування та формалізації знань дозволяє вирішувати знання-орієнтований підхід [56], який передбачає формалізацію змісту ПМТ та автоматизацію обробки отриманого формалізованого опису в інтересах вирішення конкретних завдань аналізу текстів [55]. Основними компонентами знань (з точки зору їх формалізованого опису) виступають поняття, відношення між ними, а також характеристики (атрибути) понять та відношень. Обробка вхідного тексту направлена на розпізнавання в ньому основних компонентів знань і встановлення логіко-семантичних відношень між ними з метою формування семантичної структури змісту ПМТ – семантичної мережі [9], вузлами якої є поняття, а ребрами – відношення між цими поняттями.

Отже, на першому етапі знання-орієнтованої обробки ПМТ інформація подається в єдиному вигляді шляхом вилучення знань із текстів і формалізації їх у вигляді семантичних мереж. Формалізований опис змісту ПМТ аналізується з урахуванням знань про предметну область (у контексті даного дослідження про КС, що підлягає захисту). Для цього створюється база знань, у якій інтегрується вся необхідна для комплексного аналізу апріорна (наявна) і поточна інформація.

На другому етапі методами логіко-семантичної обробки знань отримана зі змісту ПМТ інформація аналізується на функціональну повноту, а також сумісність та суперечливість апріорній інформації з бази знань. У

результаті такої обробки виявляються протиріччя у фактах, що дозволяє вирішити прикладну задачу виявлення КЗ у ПМТ.

Спосіб подання наявної та поточної інформації в базі знань про КС та її безпечне функціонування потребує уточнення. Одним із підходів до подання знань про деяку предметну область, який на практиці показав свою ефективність, є застосування онтологій. Оскільки в літературі зустрічається велика кількість тлумачень поняття “онтологія” [15], слід прийняти таке з них, яке б відповідало меті дослідження. Тому надалі під онтологією розумітимемо деякий формальний опис предметної області, що визначається як впорядкована множина виду:

$$O = \langle T, R \rangle, \tag{6.32}$$

де T – скінченна множина понять (концептів, класів) предметної області, яку відображає онтологія O ;

R – скінченна множина відношень між поняттями заданої предметної області [39].

Графічно (6.32) може бути зображено рис. 6.26.



Слід зазначити, що для розв’язання задачі виявлення КЗ в онтології мають бути якомога повніше відображені знання про процеси управління, що відбуваються в КС: об’єкт і суб’єкт управління, їх склад, характеристики та особливості функціонування; алгоритми (протоколи) взаємодії між елементами КС та обміну інформацією; допустимі стани, у яких система здатна виконувати своє призначення тощо.

Як приклад на рис. 6.27 наведено варіант онтології безпечного функціонування умовної КС. Прямокутниками позначено поняття, а овалами зі стрілками – відношення між ними.

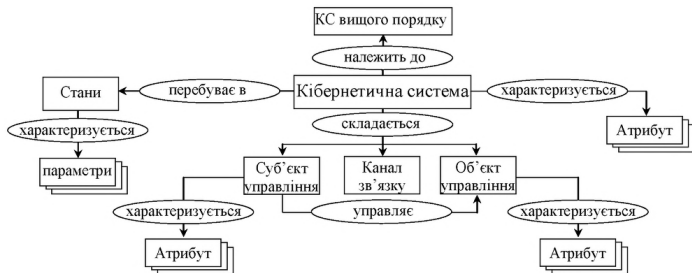


Рис. 6.27

Розглянуті підходи до опису знань із заданої предметної області у вигляді онтології та змісту ПМТ у вигляді семантичних мереж можуть бути успішно використані для виявлення в текстах ознак КЗ за визначеними класами прояву таких загроз.

Розробку підходів до аналізу отриманих із ПМТ знань здійснюватимемо окремо для кожного із визначених класів ознак КЗ.

Ідентифікацію КЗ за ознаками першого класу по суті реалізує сигнатурний метод їх виявлення. Особливістю цього процесу в ПМТ є те, що в ролі параметрів деякої загрози мають виступати її семантичні ознаки, які дозволяють однозначно ідентифікувати саме її. У [147] визначено такі ознаки та сформульовано критерій виявлення КЗ: для встановлення факту реалізації КЗ g необхідно і достатньо ідентифікувати зв'язок між ознакою об'єкта o та ознакою n , що характеризує негативні наслідки для цього об'єкта:

$$(\exists o) \wedge (\exists n) \Rightarrow \exists g \in G, \quad (6.33)$$

де o – ознака, що визначає об'єкт захисту;

n – ознака, що визначає негативні наслідки або небезпечні результати реалізації загрози g для об'єкта o .

Критерій (6.33) описує прояви КЗ першого класу і може бути зображений деяким семантичним шаблоном (рис. 6.28).

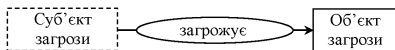


Рис. 6.28

Суб'єкт загрози є необов'язковим фігурантом відношення “загрожує”, тому його обведено штриховою лінією.

З огляду на зазначене, виявлення КЗ за ознаками першого класу зводиться до пошуку в семантичному описі тексту такої семантичної конструкції, яка збігається із заданим семантичним шаблоном, та подальшого визначення його конкретних значень: об'єкта загрози, негативних наслідків та, по можливості, суб'єкта загрози. При цьому в онтології КС виділяється фрагмент, що відповідає визначеному значенню шаблона.

Приклад: “...*нищать життєво важливі структури нашої армії та флоту*” (рис. 6.29).

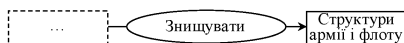


Рис. 6.29

Якщо за КС, що підлягає захисту, обрано ЗС України, то в її онтології буде виділено відповідний фрагмент (рис. 6.30).



Рис. 6.30

Ідентифікацію КЗ за ознаками другого класу реалізує метод виявлення аномалій. Особливістю його є те, що профілю “безпечного” функціонування КС відповідає її онтологія, а за поточні дані, які порівнюються з профілем, виступають семантичні конструкції змісту вхідного тексту.

З урахуванням зазначеного, виявлення КЗ за ознаками другого класу зводиться до зіставлення семантичного опису тексту та онтології КС і встановлення суперечностей між ними. При цьому в тексті та онтології КС виділяються суперечливі фрагменти.

Приклад: “резкое сокращение численности армии [Украины]”.

Відповідно до своєї онтології чисельність ЗС України є одним із атрибутів цієї КС. Тому в результаті порівняння наведеного фрагмента ПМТ й онтології КС буде виділено такий фрагмент (рис. 6.31):



Рис. 6.31

Нееквівалентність фактів, а отже і суперечливість семантичного опису ПМТ й онтології, може виражатися у формі:

1. *Протиріччя в поняттях*: відношення містить не передбачені онтологією поняття.

2. *Протиріччя у відношеннях*: між поняттями встановлено не передбачене онтологією відношення.

Розв’язок сформульованих задач виявлення КЗ першого та другого класу потребує розробки формальних правил, які б дозволяли однозначно ідентифікувати прояви таких загроз у ПМТ. Для цього введемо такі позначення. Розрізнятимемо онтологію та семантичну мережу вхідного тексту

за індексами $O_o = \langle T_o, R_o \rangle$ і $O_t = \langle T_t, R_t \rangle$ відповідно. Тоді прийемо, що: $t_o \in T_o$ – деяке поняття t_o належить онтології, тобто множині T_o ; $r_o \in R_o$ – відношення між поняттями онтології, яке належить множині R_o ; $T_1(t_o) \in T_o$ – підмножина множини T_o понять, суміжних із поняттям t_o онтології; $T_i(r_o) \in T_o$ – підмножина множини T_o понять, інцидентних відношенню r_o онтології; $R_1(t_o) \in R_o$ – підмножина множини R_o відношень між поняттями онтології, інцидентних поняттю t_o онтології; $R_z(t_o) \in R_o$ – підмножина множини R_o відношень онтології, які відображають небезпеку для поняття t_o онтології; $t_t \in T_t$ – деяке поняття t_t належить семантичному опису ПМТ, тобто множині T_t ; $r_t \in R_t$ – відношення між поняттями семантичного опису тексту, яке належить до множини R_t .

У термінах уведених позначень формальне правило виявлення КЗ за ознаками першого класу набуває такого вигляду:

$$\exists r_t(t_t) : t_t \in T_o \wedge r_t \in R_z(t_o). \quad (6.34)$$

Правило (6.33) трактується таким чином: у ПМТ виявлено відношення $r_t(t_t)$, учасником якого є поняття $t_t \in T_o$ онтології КС, а семантичне значення виявленого відношення збігається з відношенням $r_z(t_o) \in R_z(t_o)$, що відображає небезпеку для елементів КС, яким відповідають поняття онтології.

Формальні правила виявлення КЗ за ознаками другого класу задамо окремо для протиріч у поняттях і протиріч у відношеннях.

1. Протиріччя у поняттях:

$$\exists r_t(t_t) : t_t \in T_o \wedge r_t \notin R_z(t_o). \quad (6.35)$$

Відповідно до правила (6.35) виявлене в тексті поняття t_t не може брати участі у вжитому відношенні $r_t(t_t)$.

2. Протиріччя у відношеннях:

$$\forall t_o \in T_o \neg \exists r_o \in R_o \ x_t = r_o. \quad (6.36)$$

Правило (6.36) трактується в такий спосіб: множина R_o усіх відношень, у які можуть вступати поняття t_o онтології, пов'язані відношенням r_t , не містить самого відношення r_t .

Отже, методика виявлення КЗ у ПМТ включає такі етапи (див. рис. 6.32):

1. Проектування та побудова онтології $O_o = \langle T_o, R_o \rangle$ безпечного функціонування КС, що підлягає захисту, за інформацією із різнотипних джерел: набору текстів за заданою предметною областю, експертів та аналітиків.

2. Виконання логіко-семантичної обробки вхідних ПМТ та побудова семантичних описів їх змісту у вигляді семантичних мереж $O_1 = \langle T_t, R_t \rangle$.

3. Зіставлення отриманої семантичної мережі ПМТ з онтологією КС на основі формальних правил (6.34) – (6.36). Виділення суперечливих фрагментів вхідного тексту та онтології.

4. Детальний аналіз виділеного фрагмента та (у разі необхідності) всього тексту аналітиком на предмет наявності КЗ та прийняття ним остаточного рішення.

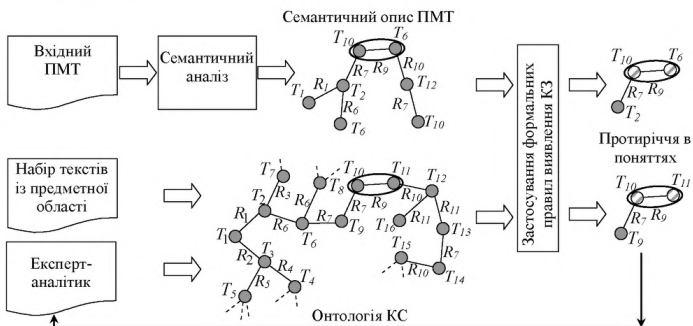


Рис. 6.32

Для перевірки дієвості запропонованої методики на підставі відомостей [23] у середовищі проектування Protege розроблено фрагмент онтології функціонування ЗС України в мирний час, яка включає:

а) понад 150 відкритих назв структурних підрозділів ЗС України із відповідними синонімами та урахуванням варіантів написання;

б) понад 1000 термінів у 16 групах, серед яких:

- 227 найменувань керівних посад відповідних структурних підрозділів;

- 383 найменування зразків озброєння та військової техніки;

- 585 якісних (кількісних) параметрів і оцінок діяльності особового складу та функціонування штатного озброєння підрозділів ЗС України та органів управління тощо;

в) близько 50 семантичних шаблонів із використанням термінів обох попередніх груп.

Автоматизована розробка онтології проводилася на базі аналізу текстів відкритих інформаційних ресурсів [22, 67, 99, 116] за допомогою спеціалізованих засобів комп'ютерного аналізу текстів. Затрачений час для розробки онтології (виділення понять та їх класифікація за розділами) – 5 людино-днів роботи експерта, а для лінгвістичного наповнення створеної онтології (відбір і систематизація типових проявів загроз, створення відповідних семантичних шаблонів, загальне налаштування і тестування створеного лінгвістичного процесора) – близько 50 людино-днів роботи лінгвіста.

У підсумку із 1000 оброблених ПМТ було виявлено майже 60 текстів (22 – за ознаками першого класу, 37 – за ознаками другого класу), які містили ознаки загроз ЗС України. При цьому заздалегідь визначена аналітиком кількість текстів з ознаками КЗ становила 74. У результаті досягнута точність автоматичного виявлення КЗ становить 80% за помилками першого роду (пропуск текстів, що містять ознаки КЗ) та 99,5% за помилками другого роду (хибне виявлення ознак КЗ, якщо їх насправді немає), а подальший аналіз виявлених текстів аналітиком дозволив забезпечити 100% точність за помилками другого роду. При цьому оперативність виявлення КЗ порівняно із ручною обробкою ПМТ підвищилася майже в 10 разів. Аналіз помилок першого роду виявлення КЗ свідчить, що точність автоматичного виявлення може бути дещо підвищена за рахунок подальшого доопрацювання онтології.

Таким чином, за рахунок обробки значних обсягів даних, що містяться в ПМТ відкритих ресурсів ІТС, можливо збільшити кількість виявлених КЗ у формі негативного інформаційного впливу, при цьому для підвищення оперативності цього процесу необхідно автоматизувати аналіз змісту текстів. З цією метою в статті запропоновано методику виявлення негативного інформаційного впливу у ПМТ, яка ґрунтується на логіко-семантичному аналізі їх змісту із застосуванням формальних правил виявлення.

Відмітністю даної методики від існуючих є застосування семантичних мереж та онтології для опису змісту текстів і профілю безпечного функціонування КС відповідно. При цьому виявлення негативного інформаційного впливу здійснюється шляхом зіставлення семантичної мережі тексту, який аналізується, з онтологією КС та застосування формальних правил ідентифікації. Розроблені правила відображають сигнатурний метод виявлення загроз та метод виявлення аномалій, що дає змогу ідентифікувати як уже відомі КЗ, так і абсолютно нові.

Результати експериментального дослідження точності та оперативності розробленої методики свідчать про значне (на порядок) скорочення часу обробки за сталого рівня точності виявлення (понад 80%).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ArcGis 9. Руководство пользователя ArcCatalog – ESRI. – М., 2005 – С. 87 – 115.
2. ArcGis 9. Руководство пользователя ArcMap – ESRI. – М., 2005 – С. 112 – 141.
3. ArcGis 9. Что такое ArcGis? – ESRI. – М., 2005 – С. 32 – 49.
4. C3IS JASMINE. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.teldat.pl/eng/produkty/c3is_jasmin.html>.
5. Krön B. Growth of self-similar graphs / B. Krön // J. Graph Theory. – 2004. – № 45(3). – P. 224 – 239.
6. Network Centric Data Communication Platform JASMINE – System of the Systems. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.teldat.pl/eng/produkty/system_jasmin.html>.
7. Sebastiani F. Machine Learning in Automated Text Categorization [Electronic Resource] – Mode of Access: <http://nmis.isti.cnr.it/sebastiani/>.
8. Ventre D. Cyberwar and Information Warfare / Edited by Daniel Ventre. 2011, Wiley-ISTE 448 pages.
9. Автоматическая классификация текстовых документов с использованием нейросетевых алгоритмов и семантического анализа [Электронный ресурс] / А. М. Андреев, Д. В. Березкин, В. В. Морозов, К. В. Симаков. – Режим доступа : <http://www.inteltec.ru/publish/articles/textan/RCDL2003.shtml>.
10. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика : учеб. пособ. / [Е. И. Большакова, Э. С. Клышинский, Д. В. Ландэ и др.]. – М. : МИЭМ, 2011. – 272 с.
11. Агеев Д. В. Методика описания структуры современных телекоммуникационных систем с использованием многослойных графов / Д. В. Агеев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 6/4 (48). – С. 56 – 59.
12. Агеев Д. В. Моделирование современных телекоммуникационных систем многослойными графами [Электронный ресурс] / Д. В. Агеев // Проблемы телекоммуникаций. – 2010. – № 1 (1). – С. 23 – 34. – Режим доступа до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_agey-ev_simulation.pdf.
13. Антушев Г. С. Методы параметрического синтеза сложных технических систем / Г. С. Антушев. – М. : Наука, 1986. – 88 с.
14. Анучин О.Н. Бортовые системы навигации и ориентации искусственных спутников Земли / О.Н. Анучин, И.Э. Комарова, Л.Ф. Порфирьев. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электронприбор», 2004. – 326 с.
15. Артемьева И. Л. Математические модели онтологий предметных областей. Ч. 1. Существующие подходы к определению понятия «онтология» / И. Л. Артемьева, А. С. Клещев // Науч.-техн. информ. – (Серия 2 «Информационные процессы и системы»). – М. : ВИНТИ, 2001. – № 2. – С. 20 – 27.
16. Бакаев В. Н. Теория автоматического управления : учеб. пособ. / В. Н. Бакаев. – Вологда : ВоГТУ, – 2002. – 211 с.
17. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. – К.: Вид. НАОУ, 2004. – 226 с.
18. Баранов Г. Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г. Л. Баранов, А. В. Макаров. – К. : Наук. Думка, 1986. – 272 с.

19. Баргесян А. А. Технологии анализа данных: DataMining, VisualMining, TextMining, OLAP / А. А. Баргесян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – 2-е изд., перераб. и доп., СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.
20. Басипов А. А. Семантический поиск: проблемы и технологии / А. А. Басипов, О. В. Демич // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. – (Серия управление, вычисл. техн. информ.). – Астрахань, 2012. – № 1. – С. 104 – 111.
21. Батков Д. О. Информация: сбор, защита, анализ. /Д. О. Батков, А. Г. Растомашкин.– М. : ООО Изд. Язуз, 2001. – 336 с.
22. Біла книга – 2012. Збройні Сили України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.mil.gov.ua/files/white_book/WB_2012_ua.pdf.
23. Білик В. М. Інформаційні технології та системи : навч. посіб. / В. М. Білик, В. С. Костирко – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 232 с.
24. Бобало Ю. Я. Моніторинг об'єктів в умовах апіорної невизначеності джерел інформації. Теорія та практика: монографія / Ю. Я. Бобало, Ю. Г. Даник, Л. О. Комарова та ін. – Львів: Коло, 2014. – 235 с.
25. Бокарьов Т. А. Способи просування компанії в мережі Інтернет / Маркетинг і маркетингові дослідження. – 2009. – № 4. – С. 34 – 41.
26. Болтян О. Знищення армії та флоту – зрада Батьківщини [Електронний ресурс] / О. Болтян. – Режим доступу : <http://www.krym.svoboda.org.ua/dopysy/dopysy/041350>.
27. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике /Т. Р. Брахман. – М. : Радио и связь, 1984. – 288 с.
28. Бучик С. С. Системи підтримки прийняття рішень : конспект лекцій / С. С. Бучик, С. О. Кондратенко, О. О. Писарчук. – Житомир : ЖВІРЕ, 2006. – 168 с.
29. Вагущенко Л. Л. Навигационно-информационные системы / Л. Л. Вагущенко. – Одеса : Фенікс, 2004 – 127 с.
30. Василенко О.В. Геоінформаційні системи керування для завдань навігаційного забезпечення військ / О. В. Василенко, Д. П. Кучеров, О. О. Зацаринин // Геоінформаційні системи у військових задачах : матеріали другого науково-технічного семінару 21–22 січня 2011р.: доповіді та статті. – Львів: АСВ, 2011. – С. 5 – 6.
31. Вебер А. В. Knowledge-технологии в консалтинге и управлении. / А. В. Вебер, А. Д. Данилов, С. И. Шифрин –СПб. : Наука и техника, 2003. – 204 с.
32. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
33. Вермишев Ю. Х. Методы автоматического поиска решений при проектировании сложных технических систем / Ю. Х. Вермишев . – М. : Радио и связь, 1982. – 152 с.
34. Вопросы статистической теории распознавания / под ред. В. В. Варского. – М. : Сов. радио, 1967. – 399 с.
35. Воронин А. Н. Многокритериальные решения : модели и методы : монография / А. Н. Воронин, Ю. К. Зиятдинов, М. В. Куклинский. – К. : НАУ, 2011. – 348 с.
36. Воронин А. Н. Сложные технические и эргатические системы: метод использования / А. Н. Воронин, Ю. К. Зиятдинов, А. В. Харченко, В. В. Осташевский. – Харьков: Факт, 1997. – 240 с.
37. Вортников В. В. Фрактальный анализ сложных сетей / В. В. Вортников // Науковий вісник Чернівецького університету. – 2014. – Том 3. Випуск 1. Фізика. Електроніка. – С. 63 – 68.

38. Гаврилов А. П. Автоматизированная система сбора, обработки и распределения разведывательной информации СВ США DCGS-A / А. П. Гаврилов // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 7. – С. 32 – 40.

39. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем : учеб. для вузов / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб. : Питер, 2000. – 384 с.

40. Герасимов Б. М. Интеллектуальні системи підтримки прийняття рішення: навчальний посібник / Б. М. Герасимов, В. М. Локажук. – К : Вид-во ЄУ, 2007. – 219 с.

41. Гліненко Л. К. Основи моделювання технічних систем : навчальний посібник / Л. К. Гліненко, О. Г. Сухоносів. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 176 с.

42. Глухих И. Н. Интеллектуальные информационные системы / И. Н. Глухих. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 112 с.

43. Горго Ю. П. Психофізіологія (прикладні аспекти) / Ю. П. Горго. – К.: Вид. МАУП, 1999. – 123 с.

44. Даник Ю. Г. Визначення сутності та змісту кібернетичної загрози / Ю. Г. Даник, В. І. Шестаков, С. В. Чернишук : збірник наукових праць ЖВІ НАУ. – Житомир, 2012. – С. 4 – 14.

45. Даник Ю. Г. Методика структурно-параметрического синтеза сложной эргатической распределенной информационно-управляющей системы реагирования на конфликтные ситуации / Ю. Г. Даник, А. А. Писарчук // Пробл. упр. и информатики. – 2014. – № 2. – С. 80– 101.

46. Даник Ю. Г. Національна безпека: запобігання критичним ситуаціям : монографія / Ю. Г. Даник, Ю. І. Катков, М. Ф. Пічугін. – Житомир : Рута, 2006. – 388 с.

47. Даник Ю. Г. Математичне забезпечення автоматизованої системи збору та обробки інформації від технічних засобів моніторингу / Ю. Г. Даник, О. О. Писарчук, С. В. Тимчук // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2015. – № 2 (27). – С. 44 – 53.

48. Даник Ю. Г. Ситуативний синтез автоматизованої системи збору та обробки інформації / Ю. Г. Даник, А. А. Писарчук, С. В. Тимчук // Кибернетика и вычислительная техника. – 2015. – Выпуск 181. – С. 23 – 34.

49. Джоджик Я. Реформа Збройних сил – стратегія знищення української армії [Електронний ресурс] / Я. Джоджик // Народне слово : загальнополіт. тижневик Укр. народ. партії. – Режим доступу : http://slovo-unp.com/admin/print.php?subaction=showfull&id=1333633657&archive=1334237759&start_from=&ucat=1&i=archive.

50. Додонов А. Г. Сетевые информационные потоки как содержательная составляющая информационно-аналитических систем / А. Г. Додонов, Д. В. Ландэ, В. В. Жигало // Реєстрація, зберігання і обробка даних – 2010. Т. 12. № 1. С. 39 – 48.

51. Дубов Д. Проблеми чинної вітчизняної нормативно-правової бази у сфері боротьби із кіберзлочинністю : основні напрями реформування : аналітична записка / Д. Дубов, М. Ожеван. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.niss.gov.ua/articles/454>.

52. Емеличев В. А. Лекции по теории графов / В. А. Емеличев, О. И. Мельников, В. И. Сарванов, Р. И. Тышкевич. – М. : Наука, 1990. – 289 с.

53. Жданюк В. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений / В. Ф. Жданюк. – М.: Сов. радио, 1978. – 384 с.

54. Журкин И. Г. Геоинформационные системы: учебное пособие / И. Г. Журкин, С. В. Шайгуря. – М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. – 181 с.

55. Знание-ориентированный подход к анализу естественно-языковой текстовой информации в интересах мониторинга и оценки ситуаций [Электронный ресурс] / В. Н. Шемаев, И. В. Замаруева, М. В. Приймак, Е. Н. Дубровский. – Режим доступа : <http://iai.kpi.ua/archive/2003/shemaev.pdf>.

56. Знання-орієнтований підхід до автоматизації інформаційно-аналітичної діяльності / І. В. Замаруєва, А. О. Рось, О. Ю. Губайдулін та ін. // Проблеми програмування : научн. журнал. – К. : ИПС НАНУ, 2000. – № 1–2. – С. 601 – 614.

57. Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А. Г. Ивахненко. – Киев: Наук. думка, 1981 – 296 с.

58. Ивахненко А. Г. Принятие решений на основе самоорганизации / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Зайченко, В. Д. Дмитриев. – М. : Сов. радио, 1979. – 280 с.

59. Из життя «кrotів» в Україні... [Електронний ресурс]. – Режим доступу: poslezavtra.com.ua/iz-zhittya-krotiv-v-ukraini.

60. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посібн./ Б. М. Герасимов, В. М. Локаюзюк, О. Г. Оксінюк, О. В. Поморова. – К. : Вид-во Європ. ун-ту, 2007. – 335 с.

61. Ковбасюк С. В. Метод найменших квадратів та його практичне застосування: моногр. / С. В. Ковбасюк, О. О. Писарчук, М. Ю. Ракушев. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2008. – 228 с.

62. Ковбасюк С. В. Програмне та математичне забезпечення обчислювальних систем АСУ: консп. лекцій / С. В. Ковбасюк, О. О. Писарчук. – Житомир : ЖВІРЕ, 2006. – 164 с.

63. Ковбасюк С. В. Теоретичні основи автоматизації процесів вироблення рішень у системах управління : навч. посіб. / С. В. Ковбасюк, О. О. Писарчук. – Житомир : ЖВІРЕ, 2006. – 132 с.

64. Ковбасюк С. В. Применение методов многокритериального анализа для принятия решений в системах автоматизированного управления / С. В. Ковбасюк, А. А. Писарчук // Проблеми управління и информатики. – 2007. – № 5. – С. 29 – 41.

65. Ковбасюк С. В. Алгоритм виявлення аномальних радіолокаційних вимірів / С. В. Ковбасюк, О. О. Писарчук, Є. Ю. Пonomарьов // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2003. – № 3 (27). – С. 79 – 83.

66. Ковбасюк С. В. Оценивание точности определения пространственного положения лоцируемого объекта в многопозиционных РЛК / С. В. Ковбасюк, В. И. Шестаков // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 1999. – № 10. – С. 18 – 23.

67. Командування Збройних Сил України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mil.gov.ua/index.php?part=command&lang=ru>.

68. Комар М. П. Ителлектуальная система обнаружения сетевых атак на информационные ресурсы на основе метода главных компонент / М. П. Комар // Системи обробки інформації. – Х. : ХУПС, 2011. – № 8 (98). – С. 203 – 207.

69. Кому вигоден развал Украинских Вооруженных Сил [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://zarodinu.org.ua/page/74>.

70. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1977. – 831 с.

71. Крысько В. Г. Секреты психологической войны (цели, задачи, методы, формы, опыт) / В. Г. Крысько, А. Е. Тараса. – Минск : Харвест, 1999. – 181 с.

72. Кузнецов И. Н. Учебник по информационно-аналитической работе. – М., : 2001. – 257 с.

73. Кузнецова В. Л. Самоорганизация в технических системах / В. Л. Кузнецова, М. А. Раков. – К. : Наук. думка, 1987. – 200 с.

74. Кузьмин С. З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С. З. Кузьмин. – М. : Радио и связь, 1986. – 352 с.

75. Кузьмин С. З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации / С. З. Кузьмин. – М. : Сов. радио, 1978. – 608 с.

76. Ланде Д. В. Новітні підходи й технології інформаційно-аналітичної підтримки прийняття рішень / Національна безпека : український вимір: щокв. наук. зб. // Рада нац. безпеки і оборони України, Ін-т пробл. нац. безпеки; редкол.: В. П. Горбулін (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2008. – Вип. 1 – 2 (20 – 21). – С. 87 – 105.

77. Ланде Д. О. Глубинный анализ текстов. Технология эффективного анализа текстовых данных [Электронный ресурс] / Д. О. Ланде. – Режим доступа: <http://visti.net/~dwl/art/dz/>

78. Ланде Д. В. Основы интеграции информационных потоков : монография. – К. : Инжиниринг, 2006. – 240 с.

79. Лаптев В. Н. Методика обнаружения и идентификации компьютерных атак в информационно-телекоммуникационных системах на основе метода индуктивного прогнозирования состояний [Электронный ресурс] / В. Н. Лаптев, О. В. Сидельников // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 77(03). – Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2012/03/pdf/32.pdf>.

80. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Вооруженных Странах: учебн. / О. И. Ларичев. – М.: Логос, 2000. – 296 с.: ил.

81. Літовченко І. Л. Особливості маркетингових досліджень через Інтернет / І. Л. Літовченко, Ю. В. Цуркан // Вісник НУ “Львівська Політехніка” – № 499. Логістика. – 2004. – С. 79 – 86.

82. Логический подход к искусственному интеллекту. От модальной логики к логике баз данных / А. Тейз, П. Грибомон, Г. Юлен и др.; пер. с франц. – М. : Мир, 1998. – 238 с.

83. Локальные и глобальные размерности графов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <<http://http://www.cognitivist.ru/er/index.xml>>.

84. Лукацкий А. В. Обнаружение атак / А. В. Лукацкий. – 2-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 608 с.

85. Малинецкий Г. Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент / Г. Г. Малинецкий. – М. : КомКнига, 2005. – 358 с.

86. Манокін Є. В. Ідентифікація загроз / Є. В. Манокін // Оборонний вісник. – К.: 2012. – № 11–12. – С. 19–22.

87. Манько О. В. Контент-моніторинг документів в інформаційно-телекомунікаційних системах : збірник наукових праць ЖВІ НАУ. – Житомир, 2012. – С. 149 – 154.

88. Методи оцінювання usability інтерфейсу користувача. [Електронний ресурс]. – Режим доступа <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/22778/1/34-Kirilenko-244-256.pdf>.

89. Михеев О. В. Автоматизована система пошуку інформації за визначеною тематикою у мережі Інтернет // Труды университета НУОУ – К., 2012. – С. 4 – 14.

90. Мобильная часть автоматизированной системы управления войсками и силами региона “Акация-МЭ”. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <<http://nevskii-bastion.ru/acacia-me/>>.

91. Моделювання методів оцінювання ефективності сайта компанії. [Електронний ресурс]. – Режим доступу http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vsuem_2013_2_7.pdf.

92. Морозов А. О. Ситуаційні центри. Теорія і практика: збірник статей / А. О. Морозов, Г. Є. Кузьменко, В. А. Литвинов. – К.: Вид-во СП «Інтертехнодрук», 2009. – 346 с.

93. Морозов В. В. Геоінформаційні системи в агросфері : навч. посібник / В. В. Морозов, К. С. Лисогоров, Н. М. Шапоринська. – Херсон : Вид-во ХДУ, – 2007. – 223 с.

94. Мышкис А. Д. Лекции по высшей математике / А. Д. Мышкис. – М. : Наука, 1969. – 640 с.

95. Нежданов И. Ю. Аналитическая разведка для бизнеса. – М. : «Ось-89», 2008. – 336 с.

96. Неуймин А. С. Устранение расходимости расширенного калмановского фильтра для сопровождения цели по данным импульсно-доплеровской РЛС / А. С. Неуймин, С. Я. Жук // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». (Серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування»). – 2012. – Вип.48. – С. 66 – 74.

97. Никитенков Н. Н. Синергетика для инженеров: учебное пособие / Н. Н. Никитенков, Н. А. Никитенкова. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 168 с.

98. Однокритеріальні і багатокритеріальні задачі прийняття рішень в умовах ризику. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://stud.com.ua/45787/menedzhment/odnokriterialnih_bagatokriterialni_zadachi_priyntyatya_rishen_umovah_riziku#767.

99. Озброєння Збройних Сил України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mil.gov.ua/index.php?part=armament&lang=ru>.

100. Основи інформаційних систем: навч. посібн. / В. Ф. Ситник, Т. А. Писаревська, Н. В. Єрьоміна, О. С. Краєва; за ред. В. Ф. Ситника. – [2-ге вид перероб. і доп.], – К.: КНЕУ, 2001. – 420 с.

101. Основи стратегії національної безпеки та оборони держави: підручник / В. Г. Радецький, О. П. Дузь-Крятченко, В. М. Воробйов та ін. – К. : НУОУ, 2009. – 596 с.

102. Основы моделирования сложных систем : учеб. пособ. для студентов вузов / под ред. И. В. Кузьмина. – К. : Высшая школа, 1981. – 360 с.

103. Охтилев М. Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. – М. : Наука, 2006. – 370 с.

104. Оценки экономической ценности Internet сайта как средства коммуникации // Маркетинг и маркетинговые исследования. – 2000. – № 6. – С. 2–5.

105. Павлов В. В. Конфликт в технических системах. Управление, целостность / В. В. Павлов. – К. : Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 184 с.

106. Перепелиця В. О. Роль індуктивного визначення фрактального графа в оцінці його числових характеристик / В. О. Перепелиця, Л. Н. Сергєєва, А. Ю. Позднякова // Вісник Запорізького державного університету. – 1999 – № 2 – С. 13 – 23.

107.Пермяков О. Ю. Інформаційні технології і сучасна збройна боротьба / О. Ю. Пермяков, А. І. Сбітнев. – Луганськ, 2008. – 204 с.

108.Петлюк І. В. ГІС-технології у військовій справі / І. В. Петлюк, С. Г. Власенко, О. І. Петлюк // Геоінформаційні системи та інформаційні технології у військових і спеціальних задачах «Січневі ГІС»: тези доповідей Третього науково-практичного семінару. – Львів: АСВ, 2012. – С. 40 – 41.

109.Писарчук А. А. Концепция идентификации контролируемых ситуаций на основе самоорганизации разнородных признаков / А. А. Писарчук // Кибернетика и вычисл. техника. – 2014. – Вып. 178. – С. 66 – 81.

110.Писарчук О. О. Методика багатокритерійної оцінки ефективності процесів функціонування та використання складних інформаційних систем / О. О. Писарчук // Защита информации : сб. науч. трудов. НАУ. – К.: НАУ, 2009. – Вып. 16. – С. 284 – 289.

111.Писарчук О. О. Оцінювання ефективності інформаційних систем за вектором критеріїв / О. О. Писарчук // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. праць – Житомир: ЖВІ НАУ, 2010. – Вып. 3. – С. 117 – 123.

112.Писарчук О. О. Методика багатокритеріальної ідентифікації технічних засобів та контрольованих ситуацій за сукупністю ознак / О. О. Писарчук : зб. наук. праць ВКНУ. – 2010. – № 26. – С. 90 – 96.

113.Писарчук О. О. Нелінійне та багатокритеріальне моделювання процесів у системах керування рухом : монографія / Писарчук О. О., Харченко В. П. – К. : Інститут обдарованої дитини, 2015. – 248 с.

114.Писарчук А. А. Методика інформаційного об'єднання измерителей координат космических объектов / А. А. Писарчук : збірник наукових праць НАУ. – 2008. – Вып. 1 (23). – С. 37 – 45.

115.Писарчук А. А. Методика формирования оптимальной структуры радиопеленгаторной сети по нелинейной схеме компромиссов / А. А. Писарчук, Ю. Л. Бондаренко, А. Л. Мельник // Проблемы управления и информатики. – 2008. – № 3. – С. 62 – 74.

116.Положення про Міністерство оборони України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/406/2011>.

117.Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. – М. : Наука, 1986. – 288 с.

118.Потапов А. С. Распознавание образов и машинное восприятие: Общий подход на основе принципа минимальной длины описания / А. С. Потапов. – СПб. : Политехника, 2007. – 548 с.

119.Пригожин И. Р. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Р. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.

120.ПТК АСУ ТЗ “Созвездие-2М”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <<http://topwar.ru/7866-ptk-asu-tz-sozvezdie-2m.html>>.

121.Пухов Г. Е. Дифференциальные спектры и модели / Г. Е. Пухов. – К.: Наук. думка, 1990. – 184 с.

122.Пухов Г. Е. Дифференциальные преобразования и математическое моделирование физических процессов / Г. Е. Пухов. – Киев: Наук. думка, 1986. – 159 с.

123. Пухов Г. Е. Приближенные методы математического моделирования, основанные на применении дифференциальных Т – преобразований / Г. Е. Пухов. – К.: Наук. думка, 1988. – 216 с.

124. Радецький В. Г. Основи стратегії національної безпеки та оборони держави : підручник / В. Г. Радецький, О. П. Дузь-Крютченко, В. М. Воробйов. – К.: НУОУ, 2009. – 596 с.

125. Радиотехнические системы : основы построения и теория: справ. / под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: ЗАО «Маквис», 1998. – 828 с.

126. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница: Універсам-Вінниця, 1999. – 320 с.

127. Саати Т. Л. Математические модели конфликтных ситуаций / Т. Л. Саати; пер. с англ.; под ред. И. А. Ушакова. – М.: «Сов. радио», 1977. – 304 с.

128. Сашук І. Автоматизована система моніторингу радіотелевізійного простору / І. Сашук, О. Манько // Форми та методи забезпечення інформаційної безпеки держави : збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 13 березня 2008 р.). – К.: Видавець Захарченко В. О., 2008. – С. 200 – 210.

129. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелс. – М.: Связь, 1976. – 496 с.

130. Семенов А. С. Фрактальные развивающиеся архитектуры / А. С. Семенов // Управление большими системами. – 2010. – Спец. вып. 30.1 “Сетевые модели в управлении”. – С. 91–103.

131. Семеняка Е. Н. Метод наименьших квадратов с кратными узлами. / Е. Н. Семеняка, И. В. Сухаревский. – Харьков: ВИРТА, 1990. – 24 с.

132. Серeda Г. К. Инженерная психология / Г. К. Серeda, С. П. Бочарова, Г. В. Репкина, Б. А. Смирнова. – К.: Вища школа, 1976. – 308 с.

133. Система та критерії маркетингового аналізу сайтів вищих навчальних закладів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=1748>.

134. Сложные технические и эргатические системы : метод использования / А. Н. Воронин, Ю. К. Зиятдинов, А. В. Харченко, В. В. Осташевский. – Х.: Факт, 1997. – 240 с.

135. Структура Збройних Сил України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mil.gov.ua/index.php?part=structure&lang=ru>.

136. Такаев Б. Что стоит за реформой Вооруженных сил Украины? [Электронный ресурс] / Б. Такаев. – Режим доступа: <http://odnarodyna.com.ua/content/chto-stoit-za-reformoy-vooruzhennyh-sil-ukrainy-i>.

137. Технологии анализа данных: DataMining, VisualMining, TextMining, OLAP / А. А. Баргсян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.

138. Тихонов А. Н. Методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М.: Наука, 1979. – 288 с.

139. Филиппович А. Ситуационные центры : определения, структура и классификация [Электронный ресурс] / А. Филиппович. – Режим доступа: <http://www.it2b.ru/blog/arhiv/469.html>.

140. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен; пер. с англ. под ред. Ю. Л. Климантовича, С. М. Осовца. – М.: Мир, 1980. – 404 с.

141. Харченко В. П. Конфліктні ситуації в системах управління повітряним рухом / В. П. Харченко, Г. В. Аргунов. – К. : НАУ-друк, 2010. – 170 с.
142. Хвещук Ю. Війна всередині Збройних Сил України [Електронний ресурс] / Ю. Хвещук. – Режим доступу : <http://politiko.ua/blogpost100122>.
143. Цвиркун А. Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А. Д. Цвиркун. – М. : Наука, 1982. – 200 с.
144. Чепиженко В. И. Виртуальные Эйнштейновские силовые поля в синергии навигационного пространства сложных эргатических систем / С. В. Павлова, В. В. Павлов, В. И. Чепиженко // Вісник НАУ. – 2012 – № 3 – С. 15 – 27.
145. Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – 415 с.
146. Шестаков В. І. Постановка завдання розподілу сил та засобів для добування інформації з комп'ютерних мереж / В. І. Шестаков, С. М. Гудзь : збірник наукових праць ЖВІ НАУ. – Житомир, 2009. – С. 93 – 96.
147. Шестаков В. І. Модель виявлення кібернетичних загроз за результатами моніторингу відкритих джерел інформації / В. І. Шестаков, С. В. Чернишук : збірник наукових праць ВІ КНУ ім. Тараса Шевченка. – К. : ВІ КНУ, 2012. – № 39. – С. 224 – 228.
148. Шипулин В. Д. Основные принципы геоинформационных систем: учебное пособие / В. Д. Шипулин. – Х.: ХНАГХ, 2010. – С. 127 – 142.
149. Шматок С. О. Методика оцінки ефективності пакету заходів для захисту інформації / С. О. Шматок, В. Б. Міщенко, Т. А. Вещицька [та ін.] : збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України. – К.: ЦНДІ ЗС України, 2007. – № 4. – С. 173 – 188.
150. Щерба А. А. Еволюція розвідувально-вогневої технології на основі мережецентричних принципів управління / А.А Щерба // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014 – № 4 – С. 109 – 112.

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

Наукове видання

Даник Юрій Григорович
Писарчук Олексій Олександрович
Шестаков Валерій Іванович
Соколов Костянтин Олександрович
Чернишук Сергій Вікторович
Лагодний Олександр Васильович
Тимчук Сергій Віталійович

**БАГАТОКРИТЕРІЙНІ МАТЕМАТИЧНІ
МОДЕЛІ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ
ТА САМООРГАНІЗАЦІЇ У СКЛАДНИХ
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

Монографія