

Юрій Григорович Даник (д-р техн. наук, професор)

Олексій Олександрович Писарчук (д-р техн. наук, с.н.с.)

Сергій Віталійович Тимчук

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Житомир, Україна

## МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ

У статті розглянуто математичне забезпечення автоматизованої системи збору та обробки інформації від технічних засобів моніторингу. Виділено проблематику, що обмежує можливості відомих підходів до побудови подібного класу складних систем. Показано можливість застосування ситуативного підходу до синтезу структури системи, для реалізації якого запропонована графодинамічна модель опису складної розподіленої інформаційної системи. Визначено напрями вдосконалення алгоритмів об'єднання та обробки інформації від різномірних інформаційних джерел.

**Ключові слова:** інформаційна система; ситуаційне управління; модель; моніторинг.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Війни і локальні конфлікти останніх років та тенденції в удосконаленні форм і методів збройної боротьби характеризуються всебічною інформатизацією цього процесу, високою динамікою змін обстановки, гібридністю в діях та асиметричним характером. Основним з факторів досягнення цілей військової агресії стає інформаційна перевага над противником, яка забезпечується об'єднанням в єдине інтегроване інформаційне середовище на базі захищених телекомунікаційних каналів й ефективним застосуванням за єдиним задумом і планом технічних засобів моніторингу (ТЗМ), інформаційної (інформаційно-психологічної, кібернетичної) протидії, радіоелектронного впливу, традиційних систем ударного озброєння тощо. Цим досягається всеохоплююча інформаційна обізнаність командирів різної ланки управління для формування своєчасних і достовірних рішень [1].

На теперішній час кожна розвинена у військовому відношенні держава має на озброєнні сучасні автоматизовані системи управління (АСУ) військами і зброєю (АСУ ВЗ) та інтенсивно й результативно проводить дослідження з їх удосконалення. АСУ ВЗ є апаратно-програмною основою єдиного інтегрованого інформаційного середовища управління. До таких систем, наприклад, належать: АСУ ВЗ Збройних сил США – Global Command and Control System та Future Combat Systems з інтегрованою до них автоматизованою системою збору, обробки і розподілу інформації DCGS (Distributed Common Ground System); система управління бойовими компонентами та модулями JASMINЕ (Польща); автоматизовані системи управління “Акація-МЕ” і “Созвездие-2М” (Росія) та багато інших. Ключовою компонентою (підсистемою) АСУ ВЗ є

система збору і обробки інформації (СЗОІ) моніторингу зовнішньої обстановки за усіма її складовими. Саме СЗОІ визначає повноту, своєчасність та достовірність інформаційного забезпечення АСУ ВЗ і ефективність її функціонування в цілому.

Оцінки розробників АСУ ВЗ та результати практичного застосування переконливо доводять наявність проблем у принципах побудови та методологічній базі обробки інформації в СЗОІ. Першопричиною цього є інформаційна надмірність даних моніторингу, зумовлена особливостями реалізації єдиного інформаційного простору. При цьому характерним є постійне зростання кількості інформаційних джерел (ІД) та ТЗМ різного типу. Зазначені особливості посилюються високою динамікою зміни зовнішньої обстановки при реалізації управління. У 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 СЗОІ та обробки інформації в системі за умов значної інформаційної надмірності результатів моніторингу, високої щільності потоку конфліктних ситуацій (КС) управління та динаміки зміни поточної обстановки.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомі підходи до синтезу структур складних систем базуються здебільшого на формуванні статичної структури системи, незмінної в процесі її функціонування і застосування [2, 3]. 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 щільності потоку КС 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 методи (оцінювання або згладжування експериментальних даних). Їх точнісні характеристики покращуються зі збільшенням обсягів експериментальних даних. Однак із наближенням експериментальних виборок 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 із змінними в часі статистичними характеристиками [4–6]. Більше того, 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.

Зазначене є недоліками існуючих підходів до синтезу структури й обробки інформації в сучасних складних інформаційних системах типу СЗОІ. Можливим шляхом їх усунення є застосування синергетичних методів, зокрема ідеології ситуаційного управління, фрактального опису складних інформаційних систем, методів самоорганізації на етапі обробки інформації.

Виходячи із зазначеного, **метою статті** є вироблення напрямів щодо ситуаційного синтезу структури та отримання ефективних методів обробки даних в автоматизованій СЗОІ від ТЗМ в умовах значної інформаційної надмірності, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки.

### Викладення основного матеріалу. дослідження

Досягнення мети дослідження потребує, перш за все, аналізу принципів та особливостей побудови АСУ та її складової – СЗОІ. У загальному вигляді будь-яка АСУ (АСУ ВЗ не є винятком) будується за класичною схемою (рис. 1).

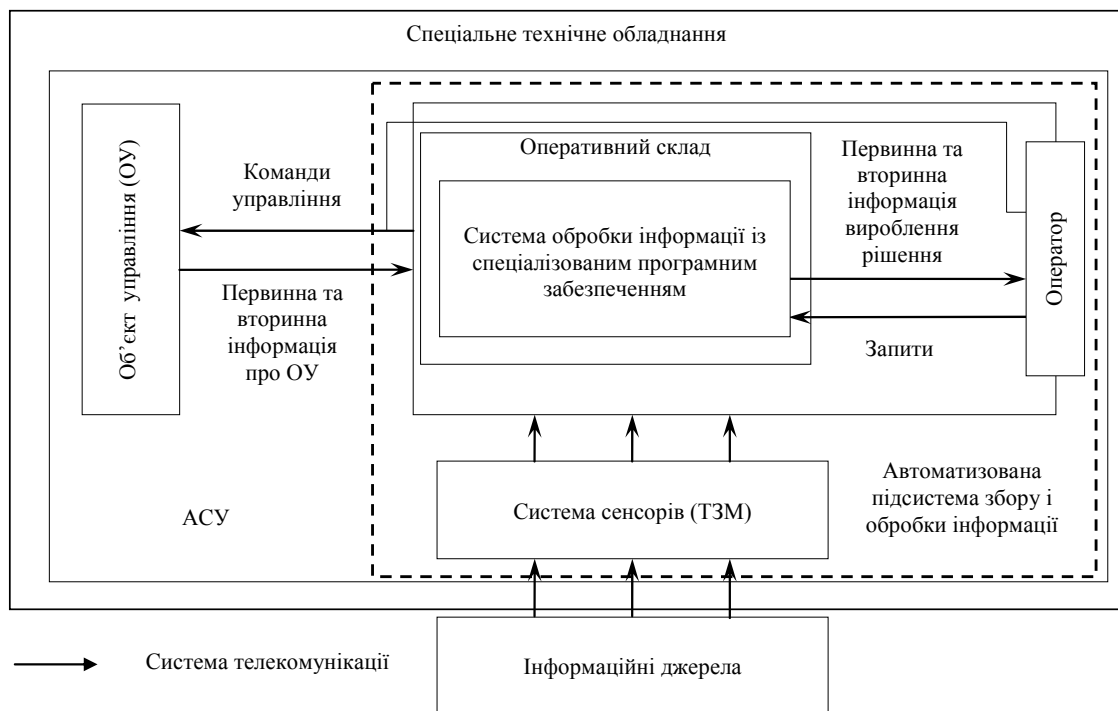


Рис. 1. Структурна схема АСУ

Сучасну АСУ ВЗ слід розглядати не стільки як складну, а як велику систему, що і зумовлює значну інформаційну надмірність, високу щільність потоку КС та динаміку зміни поточної обстановки. В усіх відомих АСУ ВЗ впроваджено ідеологію відкритих розподілених складних ергатичних інформаційно-керуючих систем, інваріантних за своєю структурою до рівня управління. Технологічно такі системи побудовано на основі захищених комп'ютерних мереж та

укомплектовано 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, а також можливість об'єднання як існуючих підсистем, елементів, так і перспективних високотехнологічних засобів без перехідних

циклів заміни застарілого обладнання. Функціональною основою побудови сучасних АСУ ВЗ є цикл управління Дж. Бойда: Observation / спостереження (збір інформації від внутрішніх і зовнішніх джерел); Orientation / орієнтування (формування множини можливих планів дій і оцінювання кожного із них за вектором критеріїв); Decision / рішення (вибір найкращого плану дій для практичної реалізації); Action / дія (практична реалізація вибраного плану дій) [1]. Цикл Бойда забезпечує впровадження в АСУ ВЗ моделі незалежного управління – реалізацію в реальному масштабі часу інформаційних запитів від об'єктів управління (ОУ) різної ланки з доступністю отриманої інформації для усіх рівнів ієрархії вертикальних та горизонтальних зв'язків у системі з можливістю жорсткого розмежування доступу.

Призначення та суть складових АСУ й взаємодіючих елементів полягає в такому.

Як *інформаційні джерела* розглядаються ті радіо- і радіолокаційні станції, системи радіозв'язку та інше устаткування, що мають випромінювання в акустичному, радіо-, відео- і інфрачервоному діапазонах хвиль та перебувають на об'єктах моніторингу (ОМ) (пілотовані й безпілотні повітряні, космічні апарати, пункти управління, радіотехнічні системи і комплекси різного призначення тощо). Засобами сенсорної складової (ТЗМ) ОМ можна охарактеризувати ознаками трьох класів: *фактами* – об'єктивною інформацією про ОМ, що відображається числовою величиною, наприклад космічний (або від аеродинамічного об'єкта) знімок ОМ, його контури, склад, динаміка зміни форми і т. д.; *даними* – об'єднанням вимірювальної інформації про ОМ, наприклад, його координати, параметри траєкторії руху (зокрема екстрапольовані), характеристики випромінюваних сигналів, ефективна поверхня розсіювання, радіолокаційний портрет тощо; *судженнями* – суб'єктивною інформацією про ОМ, наприклад, характер його дій, зміст радіообміну, стан ОМ та ін.

*Об'єкти управління (споживачі інформації та/або виконавчі елементи)* є сукупністю сил і засобів, що реалізують упорядкований комплекс дій, спрямованих на виконання команд управління з метою усунення КС, що виникла.

Центральними компонентами АСУ є сукупність елементів, що формують підсистему збору та обробки інформації (на рис. 1 позначені пунктиром), яку окремо від АСУ можна розглядати як цілісну самостійну компоненту – інформаційну чи інформаційно-керуючу систему. У випадку АСУ ВЗ, функції цих елементів об'єднує СЗОІ від технічних засобів моніторингу. Вона забезпечує пункти управління різного рівня попередньо обробленою узагальненою та адаптованою інформацією про противника через спостереження за ІД, тим самим надаючи основу для прийняття рішення та подання відповідних

команд на ОУ – сили та засоби вогневого ураження.

СЗОІ від ТЗМ у загальному вигляді є сукупністю (підсистем), описаних нижче.

*Множина ТЗМ (сенсорів)* є сукупністю, як правило, різномірних автономних технічних засобів (вимірювальних (інформаційних) систем, сенсорів, окремих датчиків та ін.), а також інших засобів, за допомогою яких формується масив даних, фактів або лінгвістичних характеристик про поточну (зовнішню) ситуацію (обстановку), стан, режими роботи, дії ОМ. 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 – будь-які технічні засоби моніторингу (спостереження) різних діапазонів хвиль.

*Система обробки інформації є множиною апаратних засобів (технічна складова) зі спеціалізованим програмно-алгоритмічним (інформаційним) забезпеченням*, що дозволяє здійснювати процеси накопичення, зберігання, обробки (у тому числі аналітичної) інформації та підтримки прийняття рішень. Технічна складова – це множина автоматизованих робочих місць (АРМ), обладнаних обчислювальними засобами, системами передачі даних та засобами прийому і відображення інформації колективного та (або) індивідуального користування, об'єднаних у ситуаційні центри централізованого чи розподіленого типів (DATA-центри). Програмно-алгоритмічна складова будується на основі інформаційних систем, спеціалізованих баз даних, розрахункових додатків, інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень із всебічним застосуванням геоінформаційних технологій [7].

*Система телекомунікації*, що відповідає вимогами захищеності та стійкості, є сукупністю 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 управління.

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

*Оперативний склад АРМ* системи обробки інформації відповідає вимогам фахової підготовки та стану високопродуктивної роботи.

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

*Властивості (вимоги до) 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 вже застосованих підходів та доповнені новітніми пропозиціями і включатимуть:

впровадження 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 та гнучкості;

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

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

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

Визначення складу СЗОІ, параметрів її елементів та відношень (інформаційних зв'язків) між ними є змістом завдання структурно-параметричного синтезу системи. Забезпечення сформованих властивостей системи в умовах значної інформаційної надмірності, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки шляхом створення статичної структури СЗОІ є малоєфективним та недоцільним. Цей шлях є регресивним і, як довела практика, призводить до появи громіздких структур, не здатних модифікуватись, адаптуватись і розвиватись залежно від інформаційних запитів та потреб обстановки. У той же час, в об'єктах живої природи успішно вирішуються завдання створення і функціонування складних хімічних сполук та організмів, здійснюється перенос енергії, накопичення і передача інформаційних потоків, обробка значних обсягів даних тощо. Це реалізується, зокрема, шляхом створення, повторення і нагромадження первинних вдалих примітивів та реалізації еволюційних процесів, механізмів розвитку, адаптації, самоутворення і самоліквідації [8]. 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 даної системи в сучасних великих АСУ ВЗ [9].

Враховуючи викладене, реалізацію процесу структурно-параметричного синтезу пропонуємо провести за ідеологією ситуаційного управління [10]. Суть цього процесу для СЗОІ полягає в описі системи із сукупності базових елементарних примітивів та їх розширенні залежно від ієрархічного рівня АСУ ВЗ. У результаті формується інформаційна модель системи, яка має відкриту архітектуру, є завершеною (без жорсткої статичності у структурі) для певного рівня ієрархії, але з можливістю доповнення з появою нових потреб і запитів (відповідно до КС, що виникає), інваріантно до рівня управління. Для відомих на відповідному рівні ієрархії управління переліку елементів, їх параметрів, зв'язків між ними та властивостей здійснюють ситуативний синтез структури СЗОІ як найкращий варіант побудови підсистеми реагування на конкретну КС. У результаті формуються і циклічно (за Дж. Бойдом) функціонують підсистеми СЗОІ, що в межах інформаційної моделі системи послідовно-паралельно відпрацьовують значну щільність КС та декомпозиційних інформаційних потоків в умовах значної динаміки зміни поточної обстановки. Фактично реалізується ситуативне управління структурою та параметрами СЗОІ в умовах значної інформаційної надмірності результатів моніторингу, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки.

Таким чином, методологію ситуативного синтезу структури автоматизованої системи збору та обробки інформації від ТЗМ пропонуємо подати послідовністю 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 другого та третього етапів;
- 5) повторення третього й четвертого етапів для іншої КС.

Для формування інформаційної моделі СЗОІ встановлено вимоги до її властивостей:

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

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 й повноти вихідної інформації.

Математичне подання інформаційної моделі базується на формальному описі елементів СЗОІ відповідно до структури, зображеної на рис. 1.

Першопричиною формування інформаційної моделі та ситуаційного конфігурування СЗОІ є КС, опис якої реалізується певною множиною (формуляром). Формуляр формується наступною трійкою:  $P_{ks}$  – ознака КС з унікальною для кожного її типу літерно-цифровою комбінацією;  $T_{ks}$  – множина частинних завдань системи з усунення КС, що виникла (формується, виходячи із завдань системи в цілому й завдань окремих АРМ);  $I_{ks}$  – множина інформаційних потреб системи з усунення КС. Тоді *формуляр КС* задаємо множиною

$$KS_i = \{P_{ks_i}, T_{ks_j}^{KS}, I_{ks_f}^{KS}\}, \quad (1)$$

$$i = 1 \dots I, \quad j = 1 \dots J, \quad f = 1 \dots F.$$

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

$$T_{ks_j}^{KS} = \{T_{ks_{i1}}, T_{ks_{i2}}, T_{ks_{i3}}, \dots, T_{ks_{il}}, \dots, T_{ks_{iL_i}}\},$$

$$l = 1 \dots L_i, \quad (2)$$

$$I_{ks_f}^{KS} = \{I_{ks_{i1}}, I_{ks_{i2}}, I_{ks_{i3}}, \dots, I_{ks_{ik}}, \dots, I_{ks_{iK_i}}\},$$

$$k = 1 \dots K_i.$$

Опис системи обробки інформації реалізується для кожного її окремого елемента (АРМ або ТЗМ). Кожне АРМ описується *формуляром*, що містить перелік завдань та інформаційних потреб:

$$ES_j = \{T_{ks_j}^{ES}, I_{ks_j}^{ES}(I_{ks_f}^{ID})\}. \quad (3)$$

Функціональне позначення  $I_{ks_j}^{ES}(I_{ks_f}^{ES})$  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 інформаційних можливостей ТЗМ;  $TX$  – перелік технічних характеристик ( $TX$ ) ТЗМ –

$$ID_f = \{I_{ks_f}^{ID}, TX_f\}. \quad (4)$$

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

Формування інформаційної моделі СЗОІ на базі фрактальних графодинамічних структур реалізує використання їх властивостей: самоподібності, дробової розмірності, масштабної інваріантності, ієрархічності [11] – для забезпечення визначених вимог до моделі системи. Опис СЗОІ реалізують фрактальним графом, що показує сукупність ТЗМ, відповідних АРМ та зв'язків між ними. Реалізація процесів формування фрактального графа, його зміни, розвитку, модифікації здійснюється з використанням операцій: копіювання графа; уведення ребра, що зв'язує виділену пару вершин (з'єднання); розбиття ребра із уведенням додаткової вершини тощо [11].

Фрактальний граф є асимптотичним геометричним об'єктом, виконання послідовних

кроків індуктивної чи дедуктивної побудови якого дає послідовність ієрархічних структур (ініціатор, предфрактальний та фрактальний графи). Індуктивне визначення предфрактального графа  $G=(V, E)$  полягає в послідовному застосуванні операції заміни вершини ініціатором  $H=(W, Q)$  до передфрактального графа, отриманого на попередньому етапі побудови [12]. На першому етапі передфрактальному графу відповідає ініціатор. Вершинами ініціатора  $H=(W, Q)$  виступають ТЗМ, інформаційно замкнені на відповідне АРМ обробки інформації. На базі ініціатора  $H=(W, Q)$  формується передфрактальний граф, наприклад трирівневої структури, шляхом послідовного застосування операції заміни вершини ініціатором.

Побудова адекватної моделі функціонування СЗОІ вимагає опису не лише її структури, а й врахування взаємодії системи із зовнішнім середовищем (ІД та користувачами інформації). Для опису взаємодії СЗОІ з ІД та користувачами інформації пропонуємо використати багат шаровий граф [13]. Багатшарова фрактально-графова структура з урахуванням результатів формування передфракталу, що описує СЗОІ, складатиметься з трьох шарів (підграфів):

$G^1$  – підграф множини ІД на ОМ,  $G^2$  – підграф множини ТЗМ та множини АРМ системи обробки інформації,  $G^3$  – підграф споживачів інформації. Результатом є багатшарова фрактально-графова інформаційна модель. Для графа  $G^1$  вершинами  $v_k^1 \in ID$ , які об'єднані ребрами  $r_k^1$  та утворюють дерева, що характеризують ОМ, їх ієрархічну структуру. У графі  $G^2$  вершини – ТЗМ та наявні АРМ системи обробки інформації, а інформаційні потоки між ними показують ребра графа.

Вершинами графа  $G^3$  є користувачі інформації, які з'єднуються ребрами відповідно до їх ієрархічних зв'язків. Ребра, що сполучають вершини з різних шарів, відображають внутрішні та зовнішні інформаційні зв'язки СЗОІ через ребра відповідних графів. Застосування фрактально-графових операцій для отримання багатшарової математичної інформаційної моделі СЗОІ в запропонований спосіб та опис процесів, що відбуваються в системі, відповідними моделями дадуть фрактальну графодинамічну модель для опису динаміки зміни процесів у системі. Загалом це забезпечить отримання задекларованих раніше властивостей СЗОІ.

Побудована таким чином інформаційна фрактальна графодинамічна модель забезпечує формування надмірної структури СЗОІ для заданого рівня ієрархії. В отриманій структурі реалізується в подальшому ситуативний динамічний синтез системи – процес ситуативного управління структурою і параметрами СЗОІ.

Етап *ідентифікації поточної КС* реалізується в ході обробки інформації. Для етапу синтезу

структури і визначення параметрів СЗОІ він вважається реалізованим.

*Ситуативний структурно-параметричний синтез СЗОІ* відповідно до КС реалізується із визначенням кількісної та якісної структури системи.

Кількісний склад системи визначається за оптимізаційною моделлю, отриманою шляхом зведення вектора суперечливих критеріїв до єдиного функціонала за нелінійною схемою компромісів як розв'язок багатокритеріальної оптимізаційної задачі:

$$F(N_{ARM}) = (1 - t_{KS0}(N_{ARM}))^{-1} + (1 - D_{KS0}(N_{ARM}))^{-1} + (1 - ID_{KS0}(N_{ARM}))^{-1} \rightarrow \min, \quad (5)$$

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

Якісний склад системи встановлюють, виходячи з вимог найкращого відображення в її структурі КС, що виникла. При цьому оптимальною буде структура, яка забезпечує виконання найбільшої кількості функцій АРМ із заданих формуляром КС  $T_{Sj} \rightarrow \max$ ; найбільшу кількість використовуваних для усунення КС ІД  $I_{Sj} \rightarrow \max$  з найкращими  $TX_{Sj} \rightarrow \max$ .

Операцію конфігурування реалізують відповідно до оптимізаційної моделі

$$\Psi_j = GT_{j0}(1 - T_{Sj0})^{-1} + GI_{j0}(1 - I_{Sj0})^{-1} + GTX_{j0}(1 - TX_{Sj0})^{-1} \rightarrow \min. \quad (6)$$

За вагові коефіцієнти використовують значення  $GT_j$ ,  $GI_j$ ,  $GTX_j$ , що відображають значущість АРМ за параметрами  $T_{Sj}$ ,  $I_{Sj}$ ,  $TX_{Sj}$ .

Ефективність результатів ситуативного синтезу структури СЗОІ оцінюють за узагальненим показником – ступенем відображення в синтезованій системі вимог КС. Це реалізується з контролем виконання умови  $\Omega_{ks POR}^{\min} < \Omega_{ks} < \Omega_{ks POR}^{\max}$ , де  $\Omega_{ks POR}^{\min}$ ,  $\Omega_{ks POR}^{\max}$  – радіуси внутрішньої та зовнішньої сфер з центром у точці  $W$  (рис. 2) поверхонь, які розмежовують області виконання (позначка 1) і невиконання (позначка 2) системою цільових завдань. На рис. 2 позначено:  $W_{rW}$  – необхідний вектор рішень, визначений формуляром КС, що характеризує вимоги до системи з відображенням у її структурі поточної ситуації;  $W_{rS}$  – забезпечуваний вектор рішень, що характеризує ступінь відображення в структурі синтезованої системи КС;  $P_{ks W}$ ,  $P_{ks S}$  – ознака КС, встановлена вимогами до системи і забезпечувана синтезованою системою відповідно;  $I_{ks W}$ ,  $I_{ks S}$  – потрібні й забезпечувані інформаційні потреби системи;  $T_{ks W}$ ,  $T_{ks S}$  – необхідні та виконувані конфігурованою системою завдання з усунення КС;  $\Omega_{ks} = \sqrt{(T_{ks W} - T_{ks S})^2 + (P_{ks W} - P_{ks S})^2 + (I_{ks W} - I_{ks S})^2}$  – відхилення системи.

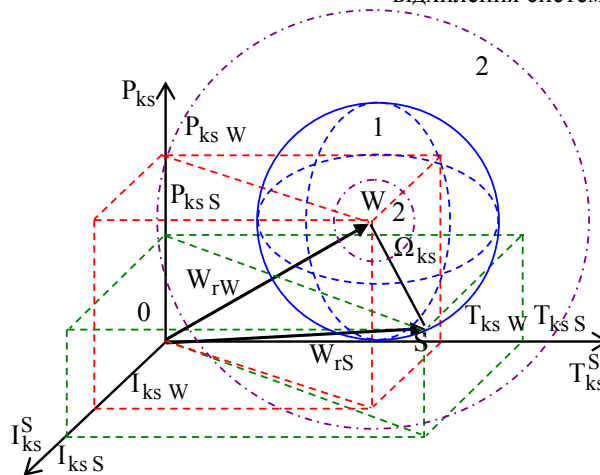


Рис. 2. Графічне зображення області виконання і невиконання завдання

**Обробка інформації** має на меті реалізацію двох класів завдань:

- загальносистемного спрямування:*
- виявлення та ідентифікація КС, що виникла;
- формування та реалізація команд внутрішнього ситуаційного управління;
- вироблення рішень на усунення КС і

формування команд управління виконавчим елементам;

- цільового спрямування:*
- визначення координат ОМ (наземного, надводного, повітряного, космічного) та параметрів його руху;

ідентифікація ОМ (класифікація) за типом, визначення його тактико-технічних характеристик, належності до групи об'єктів тощо;

встановлення характеру поточних дій ОМ, прогнозування можливого стану і подальшого характеру дій окремо та в групі, визначення його можливостей, сильних та слабких сторін тощо.

Для виконання зазначених завдань слід використовувати сукупність фактів, даних, суджень про ОМ, потік неформалізованої інформації про поточну ситуацію.

Методологічно сформульовані завдання обробки інформації зводяться до трьох етапів: спільна траєкторна обробка вимірів від різнотипних ТЗМ; ідентифікація КС та ОМ; формування аналітичного висновку про поточну ситуацію та прийняття рішення на формування команд управління виконавчим елементами.

Спільна траєкторна обробка вимірів від різнотипних ТЗМ потребує об'єднання різнорідних та несинхронізованих експериментальних вибірок. Положення динамічного ОМ в просторі однозначно характеризується вектором шести параметрів у геоцентричній системі координат (ГСК)  $\bar{b}$ , який визначають за вектором вимірюваних параметрів у пунктової системі координат (ПСК)  $\bar{a}$  із однозначним зв'язком

$$\bar{a} = F\bar{b}, \quad (7)$$

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

$$A(t) = F(B(t)), \quad (8)$$

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

Аналітичні моделі, що описують рух одного й того ж об'єкта в різних системах координат, формують у такий спосіб.

Модель руху ОМ в ГСК (теоретичну модель) формують як розв'язок диференціального рівняння (ДР), отриманого за методом диференціальних перетворень (ДП) [26]:

$$\begin{aligned} P \frac{d^m B(t)}{dt^m} + \dots = f_B(t, B(t)) = \\ = \frac{(k+m)!}{k!H^m} B(k+m) + \dots = F_B(k, B(k)), \end{aligned} \quad (9)$$

де  $B(k)$  при  $k=0, 1, \dots$  – шукані початкові умови руху динамічного об'єкта (координата і швидкість) у ГСК. Згідно з оберненими ДП матимемо модель руху ОМ у ГСК:

$$B(t) = P^{-1}\{B(k)\} = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H}\right)^k B(k). \quad (10)$$

Модель (10) у ПСК, подана за перетвореннями (8), матиме такий вигляд:

$$A(t) = \sum_{j=0}^L A_j t^j. \quad (11)$$

Початковою інформацією для визначення аналітичних експериментальних моделей в ПСК є вибірки дискретних значень певної координати

$$\bar{a} = \{a_1, a_1, \dots, a_n\}. \quad (12)$$

За вибірками (12) з використанням одного з відомих статистичних методів [17] формуються поліноміальні моделі:

$$\hat{A}(t) = \sum_{j=0}^L \hat{A}_j t^j, \quad (13)$$

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

Відповідно до методу балансу диференціальних спектрів для моделей (11) і (13) матимемо систему рівнянь

$$P\{A(t)\}_t^* \Rightarrow A(k) = \hat{A}(k) \Leftarrow P\{\hat{A}(t)\}_t^*. \quad (14)$$

Сформована система дозволяє отримати вектор початкових умов руху ОМ за обмеженим складом вимірюваних параметрів в однопозиційній системі з урахуванням часової надмірності експериментальних даних. Для багатопозиційної системи маємо сукупність частинних систем вигляду (14) за кількістю вимірювачів  $d$ :

$$\begin{aligned} P\{A_i(t)\}_t^* \Rightarrow A_i(k) = \hat{A}_i(k) \Leftarrow P\{\hat{A}_i(t)\}_t^*, \\ i = 1 \dots d. \end{aligned} \quad (15)$$

У сформованій системі врахована як параметрична, так і часова надмірність вимірюваних даних. Інформаційне об'єднання вимірювачів з використанням системи (15) не критичне до вимог когерентності їх роботи в часі та просторі, оскільки процес об'єднання здійснюється на рівні моделей руху ОМ.

Ідентифікація КС та ОМ здійснюється із впровадженням принципів самоорганізації та базується на описі об'єкта множиною  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_i\}$  з ознаками: факти  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_j\}$ , дані  $D = \{D_1, D_2, \dots, D_k\}$ , судження  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_l\}$ . Тоді ОМ характеризується апріорною множиною ознак

$$R_i \subset F_i \cup D_i \cup S_i = \{F_i, D_i, S_i\} = R_i. \quad (16)$$

У процесі спостереження за ОМ формуємо апостеріорну множину ознак:

$$W = \left\{ \begin{aligned} F &= \{\hat{F}_1, \hat{F}_2, \dots, \hat{F}_j\}, \\ D &= \{\hat{D}_1, \hat{D}_2, \dots, \hat{D}_k\}, \\ S &= \{\hat{S}_1, \hat{S}_2, \dots, \hat{S}_l\} \end{aligned} \right\} = \{\hat{F}_i, \hat{D}_i, \hat{S}_i\}. \quad (17)$$

Після трансформації множин (16), (17) до монотонного ряду формують їх поліноміальні апріорні (18) та апостеріорні (19) моделі

$$\begin{aligned} f_j(N) &= f_0 + f_1 N + f_2 N^2 + \dots, \\ d_l(N) &= d_0 + d_1 N + d_2 N^2 + \dots, \\ s_k(N) &= s_0 + s_1 N + s_2 N^2 + \dots; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \hat{f}_j(N) &= \hat{f}_0 + \hat{f}_1 N + \hat{f}_2 N^2 + \dots, \\ \hat{d}_l(N) &= \hat{d}_0 + \hat{d}_1 N + \hat{d}_2 N^2 + \dots, \\ \hat{s}_k(N) &= \hat{s}_0 + \hat{s}_1 N + \hat{s}_2 N^2 + \dots. \end{aligned} \quad (19)$$

Останні (моделі (18), (19)) обробляють на предмет виключення аномальних вимірів, що не належать вибірці (16). У результаті маємо моделі:

$$\begin{aligned} \hat{f}'_j(N) &= \hat{f}'_0 + \hat{f}'_1 N + \hat{f}'_2 N^2 + \dots, \\ \hat{d}'_l(N) &= \hat{d}'_0 + \hat{d}'_1 N + \hat{d}'_2 N^2 + \dots, \\ \hat{s}'_k(N) &= \hat{s}'_0 + \hat{s}'_1 N + \hat{s}'_2 N^2 + \dots. \end{aligned} \quad (20)$$

Аргументом  $N$  є абстрактний аналоговий процес, що описують у дискретній формі сіткою вимірів  $N = 1, 2, 3, \dots$ . Ознакою відповідності моделей (18), (19) образу (16) є мінімізація величини різниці площ фігур, обмежених моделями й інтервалами їх розгляду –  $\max \delta < (\delta' < \delta) < \min \delta$ . Значення  $\max \delta$  визначають за наявності в експериментальній вибірці випадкових помилок і більше 50% аномалій, величини  $\max \delta$  визначають тільки за наявності випадкових помилок. Параметри  $\delta$ ,  $\delta'$  розраховують як різницю інтегралів:

$$\begin{aligned} \delta &= \left[ \int_{N_1}^{N_n} f_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}_j(N) dN \right]^2, \\ \delta' &= \left[ \int_{N_1}^{N_n} f'_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}'_j(N) dN \right]^2. \end{aligned} \quad (21)$$

Об'єднання всіх категорій ознак для ідентифікації ОМ здійснюють із застосуванням технології вкладених згорток за нелінійною схемою компромісів. За згорткою формують узагальнені ознаки для кожного  $R_i$ -го ОМ з апіорної множини ознак  $P_{Ei}$  і з апостеріорної множини  $P_i$ :

$$P_{Ei} = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{\gamma_{f0ij}}{1 - \hat{f}_{0ij}} + \sum_{l=1}^{L_i} \frac{\gamma_{d0il}}{1 - \hat{d}_{0il}} + \sum_{k=1}^{K_i} \frac{\gamma_{s0ik}}{1 - \hat{s}_{0ik}}, \quad (22)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{\gamma_{f0ij}}{1 - \hat{f}_{0ij}} + \sum_{l=1}^{L_i} \frac{\gamma_{d0il}}{1 - \hat{d}_{0il}} + \sum_{k=1}^{K_i} \frac{\gamma_{s0ik}}{1 - \hat{s}_{0ik}}.$$

Числові значення міри відповідності ОМ образу визначають як відношення

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{P_1}{P_{E1}}, W_2 = \frac{P_2}{P_{E2}}, \dots, \\ W_i &= \frac{P_i}{P_{Ei}}, \dots, W_n = \frac{P_n}{P_{En}}. \end{aligned} \quad (23)$$

Рішення про ідентифікацію приймають за умови  $W_i > 0,5$ . Самоорганізація виявляється в наближенні апіорних та апостеріорних моделей ознак, що знижує розмірність задачі ідентифікації.

*Формування аналітичного висновку* про поточну ситуацію та прийняття рішення на формування команд управління 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 можливості, уразливість тощо. За характером інформація для аналітичної обробки є експериментальною та суб'єктивною і носить статистичний та нечіткий характер невизначеності [14, 15]. Формування аналітичних висновків за різномірною надмірною інформацією пропонуємо реалізувати шляхом побудови і використання ієрархічного дерева логічного висновку [15]. Базова структура логічного дерева для інфології фактів, даних, суджень може мати, наприклад, модель типу (16), а його графічно-логічне зображення з урахуванням неформалізованих інформаційних потоків наведено на рис. 3.

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 СЗОІ.

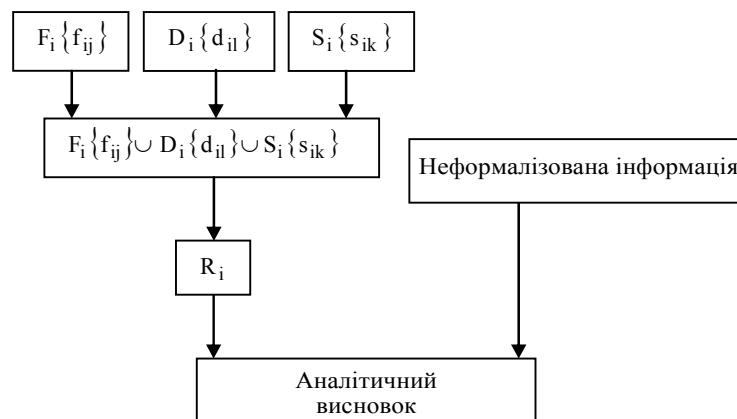


Рис. 3. Дерево логічного висновку для інфології фактів, даних, суджень



## Висновки й перспективи подальших досліджень

Побудова сучасних СЗОІ повинна забезпечувати ефективне виконання цільових завдань 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 Дж. Бойда на усіх рівнях ієрархії управління; динамічних властивостей у ситуативній структурно-параметричній адаптивності (реконфігурації) та нарощуванні; забезпечення високих показників оперативності, достовірності та повноти вихідної інформації.

Функціонування СЗОІ слід будувати на ситуативному принципі управління її структурою та параметрами шляхом формування і застосування багатопарової фрактально-графової інформаційної моделі СЗОІ від ТЗМ. Така модель відповідатиме властивостям: інваріантному до

рівнів управління та споживачів опису динаміки зміни структури СЗОІ; наслідування, інкапсуляції та поліморфізму структур з розвитком і модифікацією; прогнозування вимог до складу елементів відповідного рівня управління і споживачів.

Обробка інформації в 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 його поточних дій, прогнозування можливого стану). Їх реалізацію запропоновано з використанням методу спільної 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 ТЗМ в умовах значної інформаційної надмірності, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки.

## Література

1. Щерба А. А. Еволюція розвідувально-вогневої технології на основі мережецентричних принципів управління / А. А. Щерба // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 4. – С. 109–112.
2. Цвиркун А. Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А. Д. Цвиркун. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
3. Основы моделирования сложных систем : учеб. пособ. для студентов вузов / Под ред. И. В. Кузьмина. – К.: Высшая школа, 1981. – 360 с.
4. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелс. – М.: Связь, 1976. – 496 с.
5. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений / Б. Ф. Жданюк. – М.: Сов. радио, 1978. – 350 с.
6. Кузьмин С. З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С. З. Кузьмин. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
7. 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.
8. Пригожин И. Р. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Р. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
9. Ивахненко А. Г.

- Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А. Г. Ивахненко. – К.: Наукова думка, 1981. – 296 с.
10. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
11. Семенов А. С. Фрактальные развивающиеся архитектуры / А. С. Семенов // Управление большими системами. – 2010. – Спец. вып. 30.1 “Сетевые модели в управлении”. – С. 91–103.
12. Перепелиця В. О. Роль індуктивного визначення фрактального графа в оцінці його числових характеристик / В. О. Перепелиця, Л. Н. Сергеева, А. Ю. Позднякова // Вісник Запорізького державного університету. – 1999. – № 2. – С. 13–23.
13. 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.
14. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
15. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница : Універсам-Вінниця, 1999. – 320 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА

*Юрий Григорьевич Даник (д-р техн. наук, профессор)  
Алексей Александрович Писарчук (д-р техн. наук, с.н.с.)  
Сергей Витальевич Тимчук*

*Житомирский военный институт имени С. П. Королёва, Житомир, Украина*

*В статье рассмотрено математическое обеспечение автоматизированной системы сбора и обработки информации от технических средств мониторинга. Выделена проблематика, которая ограничивает возможности известных подходов к построению подобного класса сложных систем. Показана возможность применения ситуативного подхода к синтезу структуры системы, для*

реализации которого предложена графодинамическая модель описания сложной распределенной информационной системы. Определены направления совершенствования алгоритмов объединения и обработки информации от разнородных информационных источников.

**Ключевые слова:** информационная система; ситуационное управление; модель; мониторинг.

## MATHEMATICAL SUPPORT OF THE INFORMATION COLLECTION AND PROCESSING AUTOMATED SYSTEM FROM THE MONITORING EQUIPMENT

*Yurii H. Danyk (Doctor of Technical Sciences, Professor)*

*Oleksii O. Pysarchuk (Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

*Serhii V. Tymchuk*

*Zhytomyr Military Institute named after S. P. Koroljov, Zhytomyr, Ukraine*

*In article the software of the automated system of gathering and processing of the information from monitoring means is considered. The problematics which limits possibilities of known approaches to construction of a similar class of difficult systems is allocated. Possibility of application of the situational approach to synthesis of structure of system for which realisation it is offered graph-dynamic model of the description of the difficult distributed information system is shown. Directions of improvement of algorithms of association and processing of the information from diverse information sources are defined.*

**Keywords:** information system; situation-dependent control; model; monitoring.

### References

- 1. Scherba A. A.** (2014), Evolution reconnaissance and fire technology based on networkcentric management principles. [*Evolyutsiya rozviduvanno-vognevoyi tehnologiyi na osnovi merezhetsentrichnih printsipiv upravlinnya*], Visnik Hmel'nitskogo natsionalnogo universitetu, No. 4, pp. 109–112.
- 2. Tsvirkun A. D.** (1982), Fundamentals of structure synthesis of complex systems. [*Osnovy sinteza struktury slozhnykh sistem*], Nauka, Moscow, 200 p.
- 3. Kuzmin I. V.** (1981), Basics of modeling of complex systems: a textbook for university students. [*Osnovy modelirovaniya slozhnykh sistem : ucheb. posob. dlya studentov vuzov*], Vysshaya shkola, Kiev, 360 p.
- 4. Seydzh E., Mels Dzh.** (1976), Estimation theory and its application in communication and management. [*Teoriya otsenivaniya i yeyo primeneniye v svyazi i upravlenii*], Svyaz, Moscow, 350 p.
- 5. Zhdanyuk B. F.** (1978), Fundamentals of statistical processing trajectory measurements. [*Osnovy statisticheskoy obrabotki traektornykh izmereniy*], Sovetskoe radio, Moscow, 350 p.
- 6. Kuzmin S. Z.** (1986), Fundamentals of design of digital radar data processing. [*Osnovy proektirovaniya sistem tsifrovoy obrabotki radiolokatsionnoy informatsii*], Radio i svyaz, Moscow, 352 p.
- 7. Morozov A. O., Kuzmenko G. Ye., Lytvynov V. A.** (2009), The situational centres. The theory and practice: the collection of articles. [*Sytuatsiyni tsentry. Teoriya i praktyka : zbirnyk statey*], Vydavnytstvo SP “Intertekhnodruk”, Kyiv, 223 p.
- 8. Prigozhin I. R., Stengers I.** (1986), Order out of chaos. New dialogue between man and nature. [*Poryadok iz haosa. Novyy dialog cheloveka s prirodoy*], Progress, Moscow, 432 p.
- 9. Ivahnenko A. G.** (1981), Inductive method of self-organizing models of complex systems. [*Induktivnyy metod samoorganizatsii modeley slozhnykh sistem*], Naukova dumka, Kiev, 296 p.
- 10. Pospelov D. A.** (1986), Contingency management theory and practice. [*Situatsionnoye upravlenie: teoriya i praktyka*], Nauka, Moscow, 288 p.
- 11. Semenov A. S.** (2010), Fractal developing architectures. [*Fraktalnyye razvivayushchiesya arkhitektury*], Upravlenie bolshimi sistemami, Spetsialnyy vyipusk 30.1 “Setevyye modeli v upravlenii”, pp. 91–103.
- 12. Perepelitsya V. O., Sergeeva L. N., Pozdnyakova A. Yu.** (1999), The role of inductive definition of fractal graph in the evaluation of its numerical characteristics. [*Rol Induktivnogo viznachennya fraktalnogo grafu v otslntsl yogo chislovykh harakteristik*], Visnik Zaporizkogo derzhavnogo universitetu, No. 2, pp. 13–23.
- 13. Ageev D. V.** (2010), Methodology description of the structure of modern telecommunication systems using multi-layer graphs. [*Metodika opisaniya strukturyi sovremennykh telekommunikatsionnykh sistem s ispolzovaniem mnogosloynnykh grafov*], Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy, No. 6/4 (48), pp. 56–59.
- 14. Venttsel E. S.** (1999), Theory of probability. [*Teoriya veroyatnostey*], Vysshaya shkola, Moscow, 576 p.
- 15. Rotshteyn A. P.** (1999), Intelligent identification technology: fuzzy sets, genetic algorithms, neural networks. [*Intellektualnyye tehnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnyye seti*], Universam-Vinnycya, Vinnitsa, 320 p.

Отримано: 11.06.2015 року