

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г. В. КАРПЕНКА

*На правах рукопису*

**ЗАХАРКО**  
Елеонора Ярославівна

УДК 621.391+528.7.

**ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА РОЗРОБКА  
МЕТОДИК ВЗАЄМОДІЇ ІНТЕРПРЕТАТОРА  
З ІНФОРМАЦІЙНИМИ СИСТЕМАМИ  
ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ  
ПРИ ВІЗУАЛЬНОМУ ДЕШИФРУВАННІ**

Спеціальність: 05.11.16 — «Інформаційно-вимірювальні системи»

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Робота виконана в Фізико-механічному інституті  
АН України, м. Львів.

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00801724 (M)

Науковий керівник

— кандидат технічних наук, БАЧЕВСЬКИЙ Г. С.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор СМЕРДОВ А. А.
- кандидат фізико-математичних наук, СТОЛЯРЕНКО О. В.

Провідна установа

— Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова АН України.

Захист відбудеться « 17 » 05 1994 р. об 14 год. на засіданні спеціалізованої ради К.016.42.02 по присудженню вченого ступеня кандидата технічних наук у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка АН України (290601, м. Львів, МСП, вул. Наукова, 5).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка АН України.

Автореферат розісланий « 7 » 04 1994 р.

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

Учений секретар  
спеціалізованої ради,  
кандидат технічних наук

*В. Д. Погребенник* ПОГРЕБЕННИК В. Д.

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Обробка та аналіз двовірних оптично-відтворених інформаційних масивів (зображень) репрезентують один із напрямків розвитку сучасних перспективних інформаційних технологій і систем. У рамках цього напрямку важливою та утрудненою для розв'язку є проблема інтерпретації вказаних масивів, в першу чергу складноструктурних зображень, характерними ознаками яких виступають конструктивна насиченість, інформативність будь-якого доволі малого фрагменту та супровід нетривіальним тематичним навантаженням.

До класичних представників складноструктурних зображень відносяться космо-аерозображення поверхні Землі (КАЗ), типовою рисою яких є відсутність прямих однозначних взаємозв'язків між параметрами зображення та комплексом фізико-хімічних характеристик досліджуваної території. На це накладаються психофізіологічні особливості переробки інформації такого типу спеціалістом-інтерпретатором, який на сьогодні залишається домінуючою ланкою при аналізі подібних даних.

Наслідком окресленої ситуації є те, що на даний час дешифрування та аналіз розглядуваних зображень ґрунтуються значною мірою на якісних оцінках, носять певну неоднозначність, а результати їх обробки віддзеркалюють вплив суб'єктивних підходів інтерпретатора. Усунення впливу цих недоліків стало актуальною науковою задачею, особливо на теперішній час, що зумовлюється загостренням невідповідності між досягнутими техніко-методичним рівнем відбору аерокосмічної інформації та рівнем її обробки і тлумачення. На цих протиріччях сформувався комплекс нових як наукових, так і технічних задач у даній галузі, який визначається:

- необхідністю підвищення ефективності, достовірності та оперативності візуального дешифрування;
- потребою у створенні раціонального інтерфейсу взаємодії споживача із технічними системами обробки та обґрунтованого представлення йому перетворених зображень;
- необхідністю пошуку шляхів автоматизації складних процесів переробки візуальної інформації людиною, в тому числі через їх формалізацію та моделювання.

У дисертаційній роботі досліджується проблематика обробки, аналізу і смислового представлення космо-аерозображень земної поверхні споживачеві за допомогою технічних засобів з метою оперативних інтерпретацій та дешифрування, що виконуються візуально.

Предметною областю даного дослідження вибрано ландшафтне дешифрування та інтерпретацію КАЗ, де образні візуальні повідомлення стосуються аналізу поверхні Землі і фіксуються на професійному рівні у вигляді ієрархічного перцептивного тезаурусу, що спрощує диференціювання особливостей та закономірностей візуального мислення із детальним та достовірним аналізом висновків.

Метою дисертаційної роботи є дослідження аспектів перцептивного та смислового представлення аерокосмічного зображення і результатів його перетворення споживачеві, а також створення на основі цих досліджень узагальненої методології обробки та аналізу складноструктурних зображень при візуальному дешифруванні.

Для досягнення вказаної мети необхідно було вирішити основні наукові задачі, суть яких полягає в наступному:

- проаналізувати процедуру дешифрування КАЗ інтерпретатором з позицій теорії аналізу зображень з метою встановлення об'єктивних основ процесу і виявлення співвідношення між об'єктивними та суб'єктивними факторами дешифрувальної діяльності;

- обґрунтувати адекватну фізико-математичну модель процесу інтерпретації візуальної інформації споживачем;

- розробити та обґрунтувати методологічний підхід, за яким обробка, аналіз та інтерпретація КАЗ становлять єдиний процес;

- проаналізувати та систематизувати процедури обробки аерокосмічних знімків з огляду на потреби і вимоги дешифрувальної діяльності;

- розробити режим взаємодії інтерпретатора з інформаційними системами обробки зображень при візуальному дешифруванні;

- розробити методики обробки КАЗ для оптико-електронної системи "Стереореал".

Методи дослідження. При виконанні роботи використовувались методи та математичний апарат теорії системного аналізу, математичної логіки, теорії інформації та структурно-лінгвістичного розпізнавання образів, елементи теорії образів, топології та загальної геометрії, поняття дробової (фрактальної) розмірності та си-

метрійних груп заомощення. Крім того, використовувались елементи морфоструктурного і статистичного аналізів, методи ландшафтної дешифрування та псевдокольорового кодування, а також інші спеціальні засоби із арсеналу аналогової та цифрової обробки зображень.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1. Реалізовано системний аналіз процедури дешифрування та інтерпретації аерокосмічних зображень із врахуванням особливостей інформативного масиву, впливу на одержувані результати як технічних систем обробки, так і специфіки сенсорного і смислового сприйняття споживача.

2. Запроповано схему логіки візуального дешифрування у вигляді циклічного процесу з виділенням циклу розгляду та аналізу КАЗ у послідовності: образи → регулярності → зв'язки, та циклу прийняття рішень на алгоритмічному, евристичному та продуктивному (творчому) рівнях.

3. Проведено комплексне обґрунтування адекватності застосування в досліджуваній проблематиці концепції іконічного знаку як базового носія інформації.

4. Запропоновано і обґрунтовано набір структурних елементів аерокосмічного зображення у вигляді іконічно-орієнтованих примітивів.

5. Здійснено знакове моделювання процедур інтерпретації КАЗ з формальним представленням побудови зображення, домінантних рівнів психологічного аналізу та основних етапів машинної обробки.

6. Розроблено узагальнену методологію обробки, аналізу і смислового представлення КАЗ споживачеві за допомогою технічних засобів з метою оперативних інтерпретацій та дешифрування, що виконуються візуально.

7. Одержано формалізоване представлення основних операцій обробки, які виконуються над зображенням інформаційною системою аналогового типу у вигляді, що дозволяє здійснити безпосередній взаємоперехід між аналоговою та цифровою технікою. Формалізація проведена через фільтри математичної морфології.

Особистий внесок. Теоретичні дослідження та експериментальна перевірка теоретичних результатів дисертаційної роботи виконані автором самостійно. Створення принципів побудови оптико-електронної системи динамічного дешифрування "Стереореал" та відповідне

методологічне забезпечення здійснювалося при безпосередній участі автора.

Практична цінність дисертаційної роботи:

- на прикладі ландшафтного дешифрування аерокосмічного зображення поверхні Землі систематизовано інформацію про особливості та закономірності візуального мислення, що дозволяє класифікувати зорові задачі, спрощує їх і є корисним для навчальних цілей;
- розроблено узагальнену методологію обробки та аналізу КАЗ для інтерактивних систем візуального дешифрування;
- запропоновано і обґрунтовано режим взаємодії інтерпретатора з інформаційними системами обробки зображень, який сприяє підвищенню ефективності, достовірності та надійності візуального дешифрування;
- розроблено методики обробки КАЗ для оптико-електронної системи "Стереореал", яку впроваджено в ряді геолого-екологічних організацій Росії та Центрі аерокосмічних досліджень АН України;
- створено математичне забезпечення - інструмент аналізу специфічних особливостей зображення.

Теоретичні та експериментальні дослідження по роботі проводились в рамках бюджетних тем РВ 24/291 "Розробка та дослідження високопродуктивних оптико-електронних методів і автоматизованих засобів обробки та аналізу даних дистанційного зондування", РВ 24/130 "Розробка та дослідження оптико-цифрових інформаційних технологій структурного та кореляційного аналізу для розпізнавання, класифікації та тематичної інтерпретації багатомірних інформаційних масивів", проекту 6.03.02/016-92 "Розробка комплексу оптико-електронних та оптико-цифрових систем і інформаційних технологій обробки, аналізу та тематичного дешифрування складноструктурованих семантично-насичених зображень" та ряду проектів у рамках державної науково-технічної програми 6.2.2. "Перспективні інформаційні технології і системи" і програми "Зондування-І" державного контракту ДКС-10/93 з НКАУ.

Основні положення, що виносяться на захист:

1. Встановлення принципів організації взаємодії інтерпретатора з інформаційними системами обробки аерокосмічних зображень при візуальному дешифруванні на основі комплексного вивчення, аналізу та концептуального узгодження наступних ланок: зображення як ін-

формаційного масиву, технічної системи його обробки та споживача візуальної інформації.

2. Розвиток концепції іконічного знаку в напрямку поєднання та конкретизації психофізіологічних особливостей сприйняття зображення людиною, природної побудови КАЗ та інформаційної структури досліджуваного процесу.

3. Формалізація досліджуваного процесу через знакове (іконічне) представлення з моделюванням конструкції КАЗ (синтактики), смислового навантаження його основних фрагментів (семантики) та тематичної актуальності (прагматики), а також впливу технічних систем обробки.

4. Розробка загальної методології обробки КАЗ при візуальному дешифруванні на основі проведеної формалізації, що будується як супровід циклічного по своєму характеру перцептивного та смислового сприйняття споживачем через впорядкований набір і послідовність операцій обробки зображень. Універсальність запропонованої методології і прив'язка до практичних методик забезпечується включенням функціональних можливостей інформаційних систем в алфавіт набору операцій обробки, а проблематики конкретної поставленої задачі - в атрибути іконічного моделювання.

#### Апробація роботи.

Одержані результати дисертації доповідались автором на: XIII конференції молодих науковців (Львів, 1987); I-й Всеукраїнській конференції по тематичі "Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів" (Київ, 1992), конференції "Перспективні інформаційні технології в аналізі зображень і розпізнаванні образів" (Ташкент, 1992), та на конференції "Теоретичні та прикладні питання екології" (Бухара, 1992), I-й міжнародній конференції з інформаційних технологій і систем ІТІС'93 (Львів, 1993).

Публікації. По результатах виконаних досліджень опубліковано 11 робіт.

#### Структура та об'єм дисертації.

Дисертаційна робота складається із вступу, п'ятьох глав, заключення і додатків. Містить 120 сторінок основного машинописного тексту, 30 сторінок рисунків, графіків, таблиць і фотографій, список літератури із 115 найменувань на 10 сторінках, а також додатки на 35 сторінках.

## З М І С Т   Р О Б О Т И

У вступі подано обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, розкрито основний зміст роботи по главах.

У першій главі викладено результати проведеного автором дослідження процедури інтерпретації аерокосмічних зображень поверхні Землі споживачем - спеціалістом по ландшафтному дешифруванню.

Дешифрувальну діяльність розглянуто через набір прямих і непрямих ознак з позицій теорії аналізу зображень. Взаємозв'язок між зображенням, як інформаційним масивом, та специфікою розв'язуваних при дешифруванні географо-геологічних задач забезпечується концепцією територіальної структурності природи, в рамках якої виявляються тісні співвідношення між природно-територіальним комплексом та його ландшафтним рисунком. У дисертації розкрито фізичну (в сенсі особливостей розподілу яскравостей) суть дешифрувальних ознак і характер їх прояву на знімку. Так, прямі дешифрувальні ознаки зводяться до образів фізіономічних компонент ландшафту на основі відношень геометричної та енергетичної проєктивностей між природними об'єктами на місцевості та їх зображенням і поділяються на геометричні та фотометричні. У роботі подано їх детальне порівняння.

Продемонстровано, що непрямі дешифрувальні ознаки виявляються за допомогою фотофізіономічних індикаторів і розпізнаються на КАЗ по прямих дешифрувальних ознаках. Непрямі ознаки ґрунтуються на індикаційних зв'язках між фізіономічними та неявними компонентами ландшафту, а також на внутрішніх та між-ландшафтних взаємозв'язках.

Обґрунтовано домінантність геометричних ознак, які використовуються далі в дисертації як основа іконічної (знакової) формалізації. Обґрунтування виконано на підставі аналізу психофізіологічного характеру сприйняття зображення інтерпретатором та висновків гештальт-психологів, що відстоюють образний характер сприйняття; результатів геоморфологічних досліджень, які демонструють, що домінуюча компонента земної поверхні - рельєф - представляється на зображенні структурою сіток, розмежовуючих ліній та характерних точок; а також оцінкою інформаційних пар етрів (інформативності, завадостійкості, взаємкореляції).

Автором проведено детальний аналіз специфіки дешифрувальної

діяльності споживача і запропоновано схему логіки візуального дешифрування, в межах якої інтерпретатор розглядається як деяка складна система, котрій поставлено у відповідність два типи сприйняття: перцептивне та смислове. Перцептивне сприйняття обмежується можливостями зорового аналізатора і обумовлює оптимізацію візуальної якості зображення по таких параметрах як контраст, роздільна здатність, шумові характеристики тощо. Смислове сприйняття передбачає задіяння вищих сфер психофізіологічної діяльності дешифрувальника і в межах розгляду та аналізу зображення розділено на три етапи: контурне дешифрування з виділенням макроструктури ландшафту; аналіз ситуації в межах ландшафтно-структурної одиниці; аналіз взаємовідношень, що існують між ландшафтними структурними одиницями.

У дисертаційній роботі дешифрування розглянуто як циклічний процес з виділенням основних етапів та рівнів циклічності. Показано, що між ними є спільного, а що відмінного. Автор виділяє два основні цикли смислового сприйняття: зовнішній, в межах якого відбувається розпізнавання по схемі: образи - регулярності - зв'язки, та внутрішній, який передбачає процедуру прийняття рішень на алгоритмічному, евристичному та продуктивному (творчому) рівнях.

Відповідно до запропонованої схеми дешифрувальної діяльності здійснено класифікацію супроводжуваних зорових задач, яка зводиться до по-етапних розгляду та аналізу КАЗ. На першому етапі реалізується дешифрування макроструктури (загального рисунку) аерокосмічного зображення. При цьому ідентифікуються геометрично визначені об'єкти (об'єкти з чітко вираженими контурами). Задача поділяється на виявлення: а) просторових об'єктів з прямолінійними чи криволінійними контурами, для яких важливою ознакою виступає форма розімкнутого контуру; б) об'єктів у вигляді різноманітних форм замкнутого контуру; тут головною ознакою є форма замкнутого контуру. На другому етапі відбувається дешифрування мікроструктури або деталізація, тобто виявлення малорозмірних об'єктів. Третій етап передбачає дешифрування структури типу "замкнута область". Розрізняються області: а) однорідні тональні (головна ознака - фототон/колір); б) текстурні, основною ознакою яких є регулярність розташування множини елементів малого розміру приблизно однакового тону і геометрії.

У другій главі дисертаційної роботи зроблено висновок про коректність іконічно-орієнтованого підходу, як основи аналізу процедури дешифрування КАЗ земної поверхні і запропоновано набір елементарних структурних примитивів зображення  $P = (N, L, S, G)$ , де  $N$  - незвідний елемент,  $S$  - область,  $L$  - крива,  $G$  - зерно.

Обґрунтованість такого вибору структурних елементів зображення підтверджується закономірностями конструкції ландшафтного рисунку; характерними особливостями тонового розподілу; оцінкою співвідношень лінійних розмірів структурних елементів.

За основу розрізнення елементарних структурних примитивів зображення вибрано їх топологічні властивості. Зокрема, розглядається зондуєче клітинне замощення  $Z \times Z$  в  $IR^2$ , границі елементів якого утворюють сітку, і аналізується його накладення на зображення  $Im$ .

Якщо  $E$  - евклідова площина,

$Q \subset E$  - елементарна клітинка замощення  $Z \times Z$ ,

$\Delta P = Q \cap P$ , де  $P = (N, L, S, G)$ ,

$V = \Delta P \in B$  - елементарне покриття перетину  $\Delta P$ , а  $B \rightarrow +$  - подібний структуруючий елемент з координатами  $\{(0,0), (0,1), (1,0), (0,-1), (-1,0)\}$ .

$N = p \times p$ , ( $p \in Z$ ) - незвідний структурний елемент, який представляється "найдрібнішим" замощенням, через яке можна задати  $Im$  і розміри якого знаходяться на межі роздільної здатності систем формування та сприйняття даного зображення, то при певному співвідношенні  $p$  та  $Z$  існують такі  $i, j, k, l, m \in N$ , що

$$\left. \begin{aligned} V_1 \cap V_j &= \emptyset, \text{ або} \\ V_1 \cap V_j &\neq \emptyset, \text{ або} \\ V_1 \cap V_j \cap V_k \cap V_l &\neq \emptyset \end{aligned} \right\} - \text{ для зерна } G$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 \cap V_j &\neq \emptyset \\ V_1 \cap V_j \cap V_k &= \emptyset \end{aligned} \right\} - \text{ для гладкої кривої } L$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 \cap V_j \cap V_k \cap V_l &\neq \emptyset \\ V_1 \cap V_j \cap V_k \cap V_l \cap V_m &= \emptyset \end{aligned} \right\} - \text{ для однозв'язної області } S$$

Таким чином, елементарні структурні примитиви зображення від-

різняються по характеру та кількості покриття. У роботі досліджено залежність запропонованого критерію диференціювання від параметрів  $Z$  та  $p$ , умови класифікації по наведених вище ознаках типових для КАЗ конструкцій. Ступінь гладкості та ступінь заповнення простору реальними іконічними фрагментами зображення пропонується контролювати за допомогою методів фрактальної геометрії, використовуючи співвідношення

$$D - \ln N / \ln S$$

де  $N$  - кількість клітин, у які потрапляє хоча би одна точка зображення,  $S$  - розмір клітини,  $D$  - фрактальна розмірність. Подакться алгоритм розрахунку та результати досліджень.

Показано, що основні структурні елементи зображення у випадку бінарного (чорно-білого) зображення виділяються за допомогою незалежних і непохідних морфологічних фільтрів, які будуються на підставі векторного додавання та віднімання елементів множин зображення і відповідних структуруючих елементів Специфікою морфологічних фільтрів є оперування із геометричною формою об'єктів, тобто із структурними елементами зображення. Зокрема, якщо  $Im$  - частина площини, зайнята під зображення у теоретико-множинному представленні,  $Im^C$  - доповнення до  $Im$ ,  $B$  -  $+$ -подібний структуруючий елемент,  $Im^T$  - зображення, трансформоване по  $x$  та  $y$  на  $\Delta$ ,  $B1$  - структуруючий елемент  $\{(0, \Delta), (\Delta, 0)\}$ ,  $\oplus$  - операція морфологічного розширення,  $\ominus$  - операція морфологічної ерозії, то:

$$\begin{aligned} (Im^C \oplus B)^C \oplus B &\rightarrow S - \text{операція виділення області;} \\ Im^T \oplus B1 &\rightarrow L - \text{операція виділення кривої.} \end{aligned}$$

У третій главі розглянуто технічну систему обробки візуальної інформації на прикладі системи динамічного дешифрування "Стереореал", яка поєднує оптико-електронні та фото-хімічні способи виділення корисної інформації на знімку. В якості основного функціонального вузла "Стереореалу" задіяно просторово-часовий модулятор світла (ПЧМС) "Фототітус", принцип дії якого базується на лінійному електро-оптичному ефекті, а основу достатньо широкого класу перетворень, які система здатна виконувати над зображеннями, складають аналогове додавання і віднімання зображень, їх зсув та розфокусування.

У роботі здійснено формалізацію основних операції "Стереореалу" через фільтри математичної морфології. Одержано наступні представлення:

- одновимірне просторове диференціювання першого порядку (через віднімання вхідного зображення із аналогічного йому зсунутого):

$$A \circledast B \rightarrow A', \quad A' \cap A = C$$

$$\text{де } B = \{(0,0), (0,1)\};$$

- двовимірне просторове диференціювання першого порядку (аналогічно попередньому випадку, але із зсувом у двох ортогональних напрямках):

$$(A \circledast B1) \cap A \rightarrow C1, \text{ або}$$

$$(A^C \circledast B2) \cap A^C \rightarrow C2$$

- диференціювання другого порядку (через віднімання вхідного зображення із аналогічного йому розфокусованого):

$$A \circledast B = A'$$

$$A' = [A1, A2]$$

$$B' = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$A' \circledast B' = C$$

- тональне зміщення (шляхом накопичення зображень на мішені ПЧМС із відніманням вибраного рівня сірості):

$$A = [A1, A2, A3] \circledast \begin{bmatrix} -N & 0 & 0 \\ 0 & -N & 0 \\ 0 & 0 & -N \end{bmatrix} = [C1, C2, C3] = C$$

тут  $A$  - зображення,  $A^C$  - його множинне доповнення,  $B$  - структуруючий елемент,  $C$  - перетворене зображення,  $N$  - компонента вектора тонального зміщення,  $\circledast$  - операція розширення математичної морфології.

Показано, як основні операції "Стереореалу" змінюють структуру зображення. Зокрема, одно і двовимірне просторове диференціювання першого порядку забезпечують просторове ізотропне та анізотропне оконтурювання зображень, диференціювання другого порядку - низькочастотну, високочастотну та взимутальну фільтрації, тональне зміщення - регулювання контрасту і співвідношення сигнал/шум, виділення рівнів та областей постійного тону тощо. Проаналізовано вплив досліджуваної технічної системи на структурні елементи зображення, їх взаємозв'язки та регулярності.

У роботі детально розглянуто переваги та недоліки "Стереореалу", здійснено порівняння цієї оптико-електронної системи обробки зображень із сучасною цифровою технікою.

Четверта глава присвячена формальному представленню основних ланок досліджуваного процесу, що зводяться до зображення як інформаційного масиву, технічної системи його обробки та споживача візуальної інформації.

Сформульовано постановку задачі сенсорного і смислового представлення аерокосмічного зображення інтерпретатору, а також конкретизовано її рівні, виходячи із специфіки предметної області та наявного технічного оснащення.

Запропоновано описувати зображення з використанням методів структурного аналізу

$$I_m = \bigcup_1 O_1, \text{ де } O_1 \rightarrow \alpha(P,R),$$

тут  $O_1$  - підобраз зображення,

$P$  - множина структурних елементів  $N, L, S, G$ ,

$R$  - множина ієрархічних рангів побудови зображення (виділено та деталізовано наступні рангові примітиви: рисунок на рівні незвідних елементів та зерен, текстурний паттерн, макрообласть (однорідна та текстурна), рисунок на рівні елементарних кривих та структура,

$\alpha$  - співвідношення між  $P$  та  $R$ ; у дисертаційній роботі подається через набір морфологічних фільтрів, що забезпечують утворення та породження іконічних образів.

Досліджено специфіку конструювання із означених вище компонент модельних та реальних КАЗ, а також їх розбивку на образи - регулярності - зв'язки. При цьому використовується особливості побудови симетричних груп заомощення, а також такі операції математичної морфології, як розширення структурних примітивів, перехід від бінарних до градієнтних зображень, елементи векторного та матричного додавання.

Розглянуто три класи підобразів зображення, типових для задач ландшафтного дешифрування, а саме: набір структурних елементів (контурне представлення КАЗ); набір однотипних рисунків (виділення сукупності природно-територіальних комплексів певного рангу); на-

бір ландшафтних контурів (деталізація побудови природно-територіального комплексу).

Показано, що на рівні сенсорного сприйняття обробка зображення зводиться до виділення, чіткого окреслення геометричних форм та регулярностей. Подано сукупність відповідних операцій перетворення.

Смислове сприйняття аерокосмічного зображення запропоновано розглядати з використанням апарату семіотики, тобто з точки зору знакових систем. При цьому зображенню приписується певна синтактика (побудова), семантика (зміст) та прагматика (тематична актуальність).

Якщо  $Im \rightarrow \mathfrak{K}(P, R)$  - представлення синтактики КАЗ, то, описуючи структурні елементи, ранги і відношення між ними через набори ознак:

$$A(P) = \{P_1, P_2, \dots, P_N\};$$

$$A(R) = \{R_1, R_2, \dots, R_N\};$$

$$A(\mathfrak{K}) = \{\mathfrak{K}_1, \mathfrak{K}_2, \dots, \mathfrak{K}_N\}.$$

одержуємо,

$$[A(O)] \rightarrow [A(P)], [A(R)], [A(\mathfrak{K})] - \text{представлення семантики.}$$

Аналіз проблематики дешифрування та інтерпретації дозволив виділити фізичну семантику (випадок набору атрибутів у вигляді точок), яка вказує на наявність конкретних чітко визначених фізичних об'єктів та природніх утворень; інформативну семантику (випадок набору атрибутів у вигляді векторів), що відображає багатоплановість та неоднозначність досліджуваних іконічних примітивів, зумовлених об'єктивними причинами; інтерпретаційну семантику (випадок набору атрибутів у вигляді матриць), що відображає багатоплановість та неоднозначність змісту досліджуваних іконічних образів, зумовлених як об'єктивними факторами (підвищена структурна насиченість об'єкту, зашумленість структурних примітивів та їх зв'язків), так і суб'єктивними факторами, такими як рівень згорнутості сприйняття, загальна кваліфікація, досвід експерта-дешифрувальника тощо.

Показано, як рівні семантики взаємодіють із представленням КАЗ через сукупність структурних підобразів та їх взаємозв'язків. Подається набір трансформацій зображень, які зменшують семантичну

невизначеність образів.

Прагматику зображення запропоновано визначати через сукупність фільтрів, які, з одного боку, встановлюють відповідність між підобразом і його синтактикою та певним рівнем семантики, а з другого - відтворюють особистий досвід інтерпретатора-дешифрувальника, його знання та творчі можливості в проєкції на конкретну тематичну задачу. Виділяються фільтри алгоритмічного, евристичного та продуктивного (творчого) типів.

Запропоновано набір перетворень зображення, які спростують встановлення прагматичних конкретик. Визначено клас складноструктурних зображень.

Висвітлено зв'язок запропонованого в дисертаційній роботі варіанту формального представлення основних ланок процесу інтерпретації аерокосмічних зображень поверхні Землі з положеннями сучасної математичної логіки, розробками формальних граматики - одномірних, двомірних й атрибутивних, а також концепціями штучного інтелекту та інженерії знань. Підкреслюється, що подана формалізація реалізує системний підхід до відбору, аналізу та сприйняття зображень, пропонує єдину мову для опису досліджуваного процесу, слугує теоретичною і практичною основою для розробки раціонального режиму взаємодії інтерпретатора з інформаційними системами обробки зображень при візуальному дешифруванні.

У п'ятій главі представлено принципи організації продуктивної взаємодії споживача з системою обробки, подано узагальнену методологію перетворення зображення технічними засобами для подальшого візуального дешифрування.

У дисертаційній роботі відстоюється позиція, згідно якої обробку складноструктурного зображення з орієнтацією на інтерпретатора найдоцільніше проводити по наступній схемі: по-перше, задоволення потреб сенсорного сприйняття через покращення візуальної якості зображення; по-друге, задоволення потреб смислового сприйняття шляхом контурного представлення КАЗ, виділення однотипних рисунків, деталізації ландшафтних контурів, зменшення семантичної невизначеності підобразів, супровідження евристичного та продуктивного розгляду зображення.

Описано загальну методичку обробки аерокосмічних зображень при роботі на оптико-електронній системі динамічного дешифрування

"Стереореал", при цьому виходилося із її функціональних можливостей та запропонованої методології.

Показано, що підвищення ефективності та достовірності дешифрування при використанні пропонованої методології та методики забезпечується: наявністю схеми дешифрування; структуризацією зображення, в результаті якої зменшується кількість інформації, що сприймається споживачем та спрощується її вигляд; поглибленням пошуку за рахунок підкреслення інформації, утрудненої для сприйняття; створенням комфорту для спостерігача в результаті задоволення його професійних стереотипів та оптимального використання психофізіологічних можливостей, а також усуненням потреби виникати у роботу технічної системи, яка провадить перетворення зображення.

У роботі досліджено критерії якості зображення та його репрезентацій. Аргументовано некоректність застосування у досліджуваній проблематиці підходів та методів класичної теорії інформації.

У додаток винесено допоміжні відомості стосовно викладеного матеріалу, а також подано текст комп'ютерної програми, яка включає в себе графічний редактор, алгоритми розрахунку фрактальних розмірностей та синтезу зображень.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Дешифрування аерокосмічних зображень розглянуто і досліджено з позицій аналізу зображень як єдиний процес із врахуванням особливостей інформативного масиву, впливу технічних систем обробки та специфіки сприйняття споживачем. Це дало змогу встановити об'єктивні основи процесу і виявити співвідношення між об'єктивними та суб'єктивними факторами дешифрувальної діяльності. Здійснено класифікацію зорових та супроводжуваних їх технічних задач.

2. Детально проаналізовано специфіку дешифрувальної діяльності споживача і запропоновано схему логіки візуального дешифрування, в межах якої інтерпретатор розглядається як деяка складна система, котрій поставлено у відповідність два типи сприйняття: перцептивне та смислове, з виділенням циклу розгляду та аналізу КАЗ у послідовності: образи - регулярності - зв'язки, та циклу прийняття рішень на алгоритмічному, евристичному та продуктивному (творчому) рівнях.

3. Проведено комплексне обґрунтування адекватності застосування в досліджуваній проблематиці концепції іконічного знаку, яка поєднує психофізіологічні особливості сприйняття зображення людини, природну побудову КАЗ та інформаційну структуру досліджуваного процесу.

4. Запропоновано і обґрунтовано набір структурних елементів веркосмічного зображення у вигляді іконічно-орієнтованих примітивів, а також набір їх рангових взаємозв'язків та співвідношень.

5. Виконано моделювання процедур інтерпретації КАЗ з формальним представленням синтактики зображення, домінантних рівнів психологічного аналізу та основних етапів апаратної обробки. Подано диференційоване представлення рівнів семантики і прагматики.

6. Розроблено методологію обробки, аналізу і смислового представлення КАЗ споживачеві за допомогою технічних засобів з метов оперативних інтерпретації та дешифрування, що виконуються візуально.

7. Розроблено методика обробки реальних КАЗ на оптико-електронній системі "Стереореал" і функціонально дублюючих її комп'ютерних програмах.

8. Одержано формалізоване представлення основних операцій обробки, що виконуються над зображенням оптико-електронною системою аналогового типу, через фільтри математичної морфології.

#### СПИСОК РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Захарко Е.Я. Особливості сприймання візуальної інформації людиною та можливості їх використання при обробці семантично насичених зображень // XIII конф. молодих науковців, Львів. - 1987.
2. Бачевский Р.С., Захарко Э.Я. Семантико-ассоциативный подход как синтезирующая методология описания, анализа и понимания сложноструктурных изображений // Тез. докл. конф. "Перспективные информационные технологии в анализе изображений и распознавании образов". - Ташкент: Фан, 1992. - С. 66-67.
3. Захарко Э.Я. Определение класса сложноструктурных семантико-насыщенных изображений и акцентирование проблем, возникших при их изучении. - Львов, 1992. - 15 с. - Деп. в ВИНИТИ

29.12.1992, № 3690-B92.

4. Захарко Е. Роля систем обробки та дешифрування складноструктурованих зображень в контексті семантико-асоціативного підходу // Вісті Українських інженерів Америки. - 1990.- рік XLIII, ч.4. - С. 21-23.
5. Модель сприйняття та інтерпретації образної візуальної інформації / В.Грищик, Р.Бачевський, Е.Захарко // Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів. Праці I Всеукр. конф. - Київ, 1992. - С.64.
6. Бачевский Р.С., Захарко Э.Я. Морфогенетическая классификация структур экосистем и интерактивная система их обработки на основе семантико-ассоциативного подхода при аэрокосмическом мониторинге // Теоретические и прикладные вопросы экологии. Труды конф. - Бухара, ноябрь 1992. - С. 47-48.
7. Захарко Э.Я. Изображение как результат экспериментальных исследований и операции над ним в задачах интерпретации и дешифрирования сложноструктурных информационно-насыщенных массивов. - Львов, 1992. - 15 с. - Деп. в ВИНТИ 29.12.1992, № 3632-B92.
8. Захарко Э.Я. Сложноструктурные изображения с точки зрения отображения ими объемности реальной сцены: классификация, методы получения и сравнения. - Львов, 1992. - 15 с. - Деп. в ВИНТИ 29.12.1992, № 3691-B92.
9. Захарко Е.Я., Бачевский Р.С. Семантико-асоціативний підхід як синтезуюча методологія обробки, аналізу та представлення візуальної інформації. - Львів, 1993. - 52 с. - (Препр./АН України, Фіз.-мех. ін-т; № 189).
10. Захарко Е.Я., Бачевский Р.С., Фарович І.І. Розвиток семіотичної моделі сприйняття візуальної інформації людиною - результати частотного і фрактального аналізів // Праці міжн.конф. ITIC'93 1993, Львів, Україна.
11. Modeling of human perception of pictorial visual information. E.Zakharko, R.Bachevsky. // IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging Science & Technology. 6-10 February 1994, San Jose, California USA.



АВ 29.584

Підписано до друку 01.04.94. Формат 60×84/16. Друк. офсет. Папір друк.  
№ 1. Умов. друк. арк. 0,93. Умов. фарбо-відб. 1,17. Обл.-вид. арк. 0,8. Тираж  
100 прим. Зам. 2351.

---

Обласна книжкова друкарня, 290000, Львів, вул. Стефаніка, 11.