

УДК 004.9:159.955



ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОБРАЗНОЇ ПАМ'ЯТІ ЛЮДИНИ У ВИГЛЯДІ ГРАФУ

О. В. Біскало

Вінницький державний аграрний університет, м. Вінниця, Україна
obisikalo@gmail.com

Розглядається загальний підхід до представлення образних потоків та інших складових моделі асоціативної пам'яті людини у вигляді графу. На основі декомпозиції інформаційних потоків визначено структуру та формальні ознаки орієнтованого графу. В цілях моделювання задач мовленнєвої діяльності запропоновано формальні критерії якості для оцінки сенсу образу та події.

ОБРАЗ, ПОДІЯ, АСОЦІАТИВНА ПАМ'ЯТЬ, ІНФОРМАЦІЙНІ ПОТОКИ, ОРІЄНТОВАНИЙ ГРАФ, КРИТЕРІЙ СЕНСУ

Вступ

Моделювання образного асоціативного мислення людини ще не сприймається науковою спільнотою як окремий напрямок досліджень, незважаючи на помітні успіхи у розпізнаванні образів. Такий стан речей пояснюється складним феноменологічним характером об'єкта дослідження та відсутністю загально визнаної теорії інтелекту. Внаслідок цього проблемним лишається низький рівень формального розуміння сенсу природномовних конструкцій в сучасних інформаційних технологіях комп'ютерної лінгвістики та електронного навчання. Актуальність результатів моделювання образного мислення людини визначається широким колом можливих програмних додатків, впровадження яких поки що обмежується недостатнім рівнем розуміння сенсу природномовних конструкцій.

Опубліковані підходи до теоретико-модельної формалізації процесів мислення та рефлексії, де враховуються поняття свідомості, представлення, образу, онтології, але лишається поза розглядом онтогенез психічних функцій людини [1]. Проте багато авторів відзначають, що існуючі підходи до моделювання операцій образного мислення мають на даний момент скоріше концептуальний, аніж практичний характер [2].

В роботі [3] запропонована функціональна модель психічної діяльності людини (рис. 1), яка враховує онтогенез та взаємодію таких блоків головного мозку:

- 1 – ефективна і афективна складові нервової системи, блок емоцій (стволові відділи мозку);
- 2 – виконавчі механізми (моторні відділи мозку);
- 3 – надоперативна пам'ять або буфер для створення складних образів (скронева область);
- 4 – блок створення складних рухів або кінестетичних мелодій (передмоторна область);
- 5 – оперативна пам'ять (зона ТРО);
- 6 – довготривала пам'ять (потилична область);
- 7 – асоціативна пам'ять (тім'яна область);
- 8 – блок моделювання або формування і вибору стратегій (постцентральні області);
- 9 – блок програмування, регулювання і контролю (лобові доли).

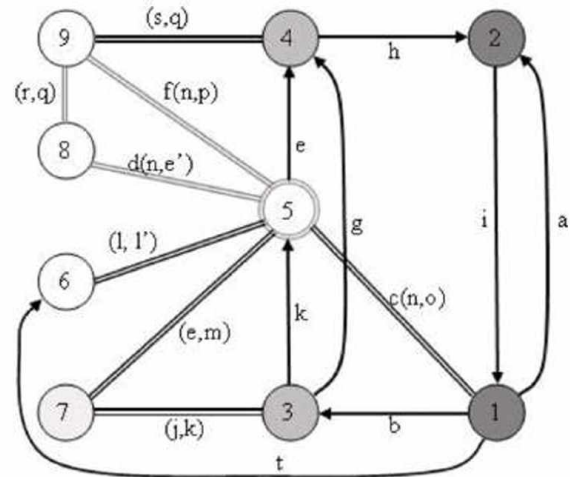


Рис. 1. Функціональна модель психічної діяльності

На рис. 1 використані наступні позначення для інформаційних потоків, що відповідають нервовим та психічним процесам людини:

- a) – пряма рефлекторна дуга;
- b) – відчуття;
- c) – отримання вектора емоцій для образів активної ситуації;
- d) – отримання образу рішення для образів активної ситуації в результаті впливу (вливання) сенсів;
- e) – образ у фокусі уваги або інтегрований образ рішення (дії);
- f) – отримання образу контролю стратегії для образів активної ситуації;
- g) – сприйняття і уявлення, що беруть участь в умовних рефлексках;
- h) – складні команди (кінестетичні мелодії);
- i) – команди управління з моторних відділів;
- j) – сприйняття образів;
- k) – представлення образів;
- l) – записані та відтворені (l') події у вигляді ансамблю образів;
- m) – асоційовані образи;
- n) – образи активної ситуації;
- o) – вектор емоцій для образів активної ситуації;

p) – складовий образ неспівпадіння контрольної та активної ситуацій;

q) – складовий образ мети (стратегія);

r) – план (програма) дій у вигляді послідовності образів;

s) – набір стійких рефлексорних автоматизмів для виконання інтелектуальних дій.

Розглянутий підхід до функціонального моделювання психічної діяльності поки що не підкріплено формальною універсальною моделлю образної пам'яті, що підтримує функції всіх типів пам'яті людини – надоперативної, оперативної, довготривалої та асоціативної.

Постановка завдання. Виходячи з особливостей функціональної моделі психічної діяльності формалізувати модель образної пам'яті людини у вигляді графу.

1. Декомпозиція образних потоків

З метою визначення суттєвих ознак образної пам'яті людини розглянемо природні типи розпізнавання інформації, закодованої у вигляді сигналів нервової системи. Виходячи з фізіологічних та психологічних основ моделювання образного мислення [3] приймемо робочу гіпотезу про те, що траєкторія нервового збудження може передавати такі типи сигналів:

1) кількісний параметр – базовий тип інформаційного сигналу;

2) якісний параметр як обмежена множина кількісних параметрів;

3) образ (гештальт) як обмежена множина якісних параметрів;

4) подія як обмежена множина образів.

Така послідовність типів сигналів відповідає логічному принципу від простого до складного та, скоріш за все, має філогенетичну хронологію. Інформаційні потоки кількісної природи безперервно надходять через всі 5 органів чуття людини і так само безперервно розпізнаються в автоматичному (несвідомому) режимі. Базовий тип нервового збудження задається виключно кількісними параметрами – силою та тривалістю сигналу, а також специфічними для кожного органу чуття властивостями, наприклад, світових або звукових хвиль і таке інше [4]. Результатом первинного розпізнавання можна вважати ідентифікацію певної множини або комбінації кількісних параметрів у вигляді якісного параметру, що має безпосереднє відношення до одного з раніше розпізнаних образів. Звідси якісні параметри (інакше – відчуття образів) представляють собою ознаки або властивості, яким, як правило, ставиться у відповідність вербальний (символьний) еквівалент, наприклад, «зелений», «великий», «голосний», «приємний», «повільний», «небезпечний», «солодкий», тощо.

Згідно з нейропсихологічними основами моделювання [5] первинне розпізнавання відбувається на несвідомому рівні, проте в результаті інтроспективного

аналізу може згодом «спливати» у свідомість саме завдяки вербальним ознакам відповідних образів. Наступним етапом розпізнавання, що спочатку також відбувається поза свідомістю, є феномен сприйняття людиною цілісного образу або гештальту. Будь-яке представлення образу об'єднує в єдине ціле досить значну, але обмежену кількість якісних ознак та властивостей, що пов'язують його з іншими образами. Отже, представлення образів у пам'яті людини визначаються певною множиною найбільш значущих (в першу чергу – статистично) зв'язків, що можна продемонструвати відомими загадками на зразок «Сам – алий, сахарний, кафтан – зелений, бархатний» або «Два кольця, два конпа, посередине гвоздик».

Третім природним типом розпізнавання для людини можна вважати одночасне сприйняття ансамблю з 7 ± 2 взаємодіючих образів у вигляді події [3]. Під час події кожний образ може грати одну з ролей, найголовнішими з яких є об'єкт дії, власне дія (метод) та суб'єкт дії. Інші складові активної образної ситуації при необхідності характеризують ознаки (властивості) об'єкта та/або суб'єкта та/або обставини дії. Даний тип розпізнавання належить до природних, тому що, так само як і попередні два, спочатку здійснюється несвідомо. У певних випадках, пов'язаних з небезпечними для людини обставинами, ця первинна тваринна здатність до рефлексорного сприйняття та реагування на події є найбільш ефективним або, навіть, єдиним шляхом до самозбереження. Мовленнєва діяльність людини, хоча і вважається вищим типом психічної діяльності, так само побудована на комунікації подій та, відповідно, синтагматичному устрої мови [5].

Виходячи з запропонованої класифікації, проведемо аналіз введених в структурній моделі образного мислення інформаційних потоків. Загальна кількість можливих об'єктів аналізу згідно з [3] дорівнює 17-ти, оскільки функціональна схема вміщує позначення для 3-х петель, що мають змішану природу сигналу – с), d) та f). Сигнал з кількісними параметрами передається у 4-х потоках а), і), о) та t), з якісними параметрами – у 3-х потоках b), h) та s). Сигнал з цілісними образами передається у 5-х потоках e), g), j), k) та m), а сигнал з подіями – у 5-х потоках l) та l'), n), p), q) та r). Результати проведеного аналізу узагальнено в табл. 1.

Таблиця 1

Відповідність інформаційних потоків моделі типам сигналу нервового збудження

№ п/п	Тип сигналу	Позначення інформаційних потоків	Кількість потоків
1.	Кількісний параметр	a), i), o), t)	4
2.	Якісний параметр	b), h), s)	3
3.	Образ	e), g), j), k), m)	5
4.	Подія	l), n), p), q), r)	5

2. Формальне представлення образної пам'яті

Представимо образну пам'ять людини у вигляді асоціативної мережі, що відповідає ланцюгу для 3-х розглянутих типів розпізнавання: кількісний параметр – якісний параметр – образ – подія. В загальному випадку така мережа може складатися з n образів, потенційно пов'язаних між собою зв'язками типу «кожний з кожним». Поява нового i -го образу в асоціативній мережі пов'язується з новим результатом 1-го типу природного розпізнавання (якісним параметром). **Ідея формалізації** розглянутої асоціативної мережі образної пам'яті полягає у використанні орієнтованого графу, який характеризується певними особливостями. Вершиною графу можна вважати образ, що має унікальні вербальні ознаки сутності якості–об'єкт–метод [6]. Ребрам графу є спрямований асоціативний зв'язок від головного i -го до підлеглого j -го образу, причому вага ребра Ve_{ij} залежить від статистично зафіксованої кількості k_{ij} фактів появи такого зв'язку у попередніх подіях згідно з виразом

$$Ve_{ij} = 1 - e^{-k_{ij}}.$$

Відповідно вага Ve_{ji} зворотного ребра аналогічно залежить виключно від статистичної кількості k_{ji}

$$Ve_{ji} = 1 - e^{-k_{ji}},$$

причому, в загальному випадку

$$Ve_{ij} \neq Ve_{ji}.$$

Фрагмент орієнтованого графу представлено на рис. 2, де кольором виділено образи, що асоціативно пов'язані з центральним образом.

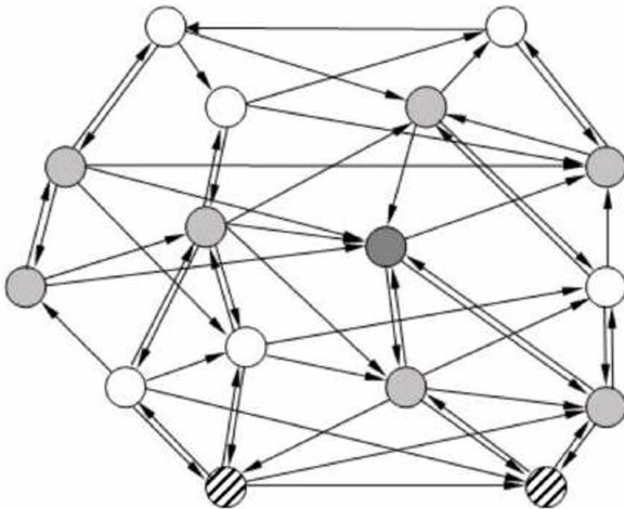


Рис.2. Фрагмент асоціативної мережі образів: визначення образу та пари образів

Розглянутий на рис.2 фрагмент можна вважати ілюстрацією формального опису окремого образу шляхом визначення його зв'язків з іншими образами мережі в результаті 2-го типу природного розпізнавання. Вага ребра графу при такому підході характеризує силу асо-

ціативного зв'язку між двома образами асоціативної мережі образів (АМО) людини – якщо зв'язок між i -м та j -м образами відсутній, то вага Ve_{ij} дорівнює 0; якщо цей асоціативний зв'язок максимально сильний, то вага відповідного ребра наближується до 1:

$$0 \leq Ve_{ij} < 1.$$

Можна стверджувати, що значення введеної ваги ребра графу оцінює статистичний сенс асоціативного зв'язку між парою образів з урахуванням напрямку асоціації. Очевидно, що образна пам'ять кожної людини має унікальний характер, оскільки залежить від місця та обставин народження, оточення, виховання та освіти, тощо – всі ці чинники будують індивідуальний ланцюг подій довжиною в життя. Тому треба враховувати те, що сенс образів з тими ж самими вербальними ознаками для різних людей неоднаковий, це також поширюється на характеристики АМО у цих людей. Покажемо, що запропонована вага Ve_{ij} дозволяє оцінити сенс окремого образу АМО чи декількох пов'язаних образів, наприклад, дати певні кількісні характеристики для таких відомих вербальних понять як «багатий образ» або «значима подія». Так, будь-який i -й образ АМО, що добре видно на рис. 2, характеризується двома головними параметрами:

- n'_i – кількістю вхідних асоціативних зв'язків;
- n''_i – кількістю вихідних асоціативних зв'язків.

Тоді, знаючи вагу Ve_{ij} відповідного ребра графу для кожного з таких асоціативних зв'язків, можна визначити:

$$Se'_i = \frac{1}{n'_i} \sum_{j=1}^{n'_i} Ve_{ij}, \tag{1}$$

$$Se''_i = \frac{1}{n''_i} \sum_{j=1}^{n''_i} Ve_{ij}, \tag{2}$$

де Se'_i – середнє арифметичне значення «сенсу визначення» образу;

Se''_i – середнє арифметичне значення «вихідного сенсу» образу.

Зрозуміло, що внаслідок виразу (4) для ваги Ve_{ij} , вірними є співвідношення:

$$0 \leq Se'_i < 1, \\ 0 \leq Se''_i < 1.$$

Окрім того, для моделювання ряду задач образного мислення, в тому числі мовленнєвої діяльності, потрібно мати оцінку середнього арифметичного загального сенсу i -го образу у вигляді

$$Se_i = (Se'_i + Se''_i) / 2 \tag{3}$$

та значення загальної кількості асоціативних зв'язків i -го образу

$$n_i = n'_i + n''_i. \tag{4}$$

Розглянута сукупність характеристик $n'_i, n''_i, (1), (2), (3), (4)$ в залежності від мети дослідження може засто-

совуватися у якості формальної бази для побудови лінійки складних якісних критеріїв-ознак. Наприклад, при моделюванні мовленнєвої діяльності пропонується вважати вербальними ознаками образу, значення сенсу (9) якого визначено, такі:

- маловідомий образ ($0 \leq Se_i < 0,2$);
- простий образ ($0,2 \leq Se_i < 0,4$);
- популярний образ ($0,4 \leq Se_i < 0,6$);
- складний образ ($0,6 \leq Se_i < 0,8$);
- багатий образ ($0,8 \leq Se_i < 1$).

Парою образів будемо називати дві суміжні вершини графу, пов'язані між собою ребром з певною вагою – на рис. 2 пара образів відокремлена штрихуванням.

За визначенням [6], поняття події може бути представлено як сукупність декількох пар образів. Тому, якщо у фрагменті загального графа виділяти кольором зв'язки та образи окремої події, то отримуємо її формальний опис. На рис.3 таким чином зображено подію, що виникає внаслідок 3-го типу природного розпізнавання, – центральна темна вершина уособлює образ-дію, а інші сірі вузли – об'єкт, суб'єкт і якості (дії та об'єкта).

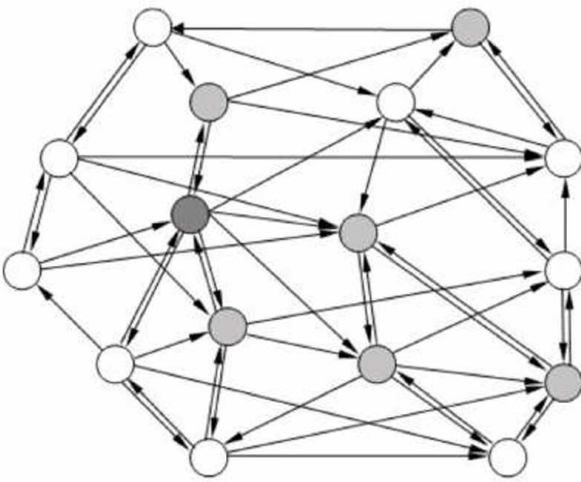


Рис.3. Фрагмент асоціативної мережі образів визначення події

Отже, представивши подію у вигляді послідовного або розгалуженого ланцюга (орієнтованого графа) образів, за основу оцінки сенсу події візьмемо сенс асоціативної пари образів. Загальний сенс пари з i -го головного та j -го підлеглого образів представимо у вигляді:

$$Se_{ij}^p = (Se_i + 2 \cdot Se_j + Se_j) / 4.$$

Тим самим у сенс пари закладається така сама питома вага асоціативного зв'язку, як і загальна середня вага образів, що складають цю пару. Твердження про те, що будь-яке складне дерево події розкладається на асоціативні пари, легко перевіряється за допомогою синтаксичного розбору речення. Відповідно сенс події є середнім значенням сенсу всіх пар, що складають подію

$$Se_i^e = \frac{1}{n_i^e} \sum_{j=1}^{n_i^e} Se_{(ij)}^p,$$

де Se_i^e – сенс i -ї події;

n_i^e – кількість асоціативних пар i -ї події;

$Se_{(ij)}^p$ – сенс j -ї пари i -ї події.

Зрозуміло, що так само, як і для попередньо розглянутих критеріїв сенсу

$$0 \leq Se_{ij}^p < 1, \\ 0 \leq Se_i^e < 1.$$

При моделюванні психічної, у тому числі мовленнєвої, діяльності оцінка сенсу i -ї події Se_i^e також дозволяє поставити у відповідність нормованому числовому параметру множину якісних критеріїв-ознак, наприклад:

- малоймовірна подія ($0 \leq Se_i^e < 0,2$);
- незначна подія ($0,2 \leq Se_i^e < 0,4$);
- типова подія ($0,4 \leq Se_i^e < 0,6$);
- гучна подія ($0,6 \leq Se_i^e < 0,8$);
- значуща подія ($0,8 \leq Se_i^e < 1$).

Формальні поняття та ознаки графа асоціативної мережі образів. На відміну від довільного орієнтованого графа запропонована модель образної пам'яті дозволяє врахувати суттєві особливості його побудови з метою уникнення NP-повної задачі в алгоритмах пошуку на графі. Для розгляду таких особливостей введемо наступні формальні визначення:

1. Образ – вершина графа, що з'єднуються з іншими вершинами не менше, ніж двома ребрами. Кожна вершина має унікальну множину зв'язків з іншими суміжними вершинами, тому у графі не можуть існувати випадки так званих симетричних зв'язків між двома вершинами (рис.4.), що необхідно відслідковувати при додаванні нових вершин та ребер в модель образної пам'яті.

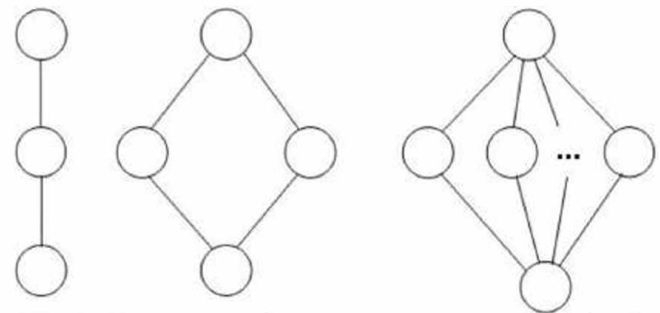


Рис.4. Неприпустимі випадки симетричних зв'язків між двома вершинами графа

2. Кількість ненульових (вага більша за 0) зв'язків від кожної вершини графа до інших вершин набагато менша за $n-1$. Згідно з практикою асоціативного експерименту, при великих значеннях n людина може підібрати не більше 7 ± 2 значущих слів-асоціатив на слово-стимул.

3. Між будь-якими двома вершинами графа розмірністю n обов'язково існує кінцевий шлях довжиною не більше за $(n+1)/2$ у зв'язку з визначенням образу. Найдовший кінцевий шлях за відсутності симетричних зв'язків показано на рис.5.

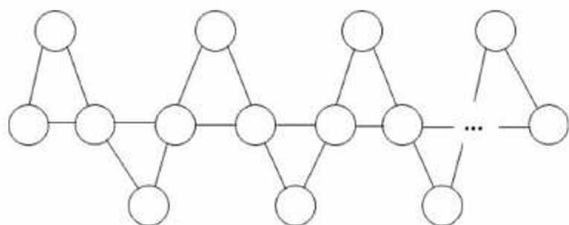


Рис.5. Найдовший шлях між двома вершинами графа

4. Пара образів – ребро між двома суміжними вершинами графа з вагою, що визначається на основі (1). З урахуванням напрямку зв'язку вага ребра Ve_{ij} в загальному випадку не дорівнює вазі ребра Ve_{ji} .

5. Пара як компонент події фіксує одиничний асоціативний зв'язок від головного образу до підлеглого [6]. При внесенні нових подій в модель образної пам'яті необхідно збільшувати на 1 лічильники k_{ij} для тих пар, з яких складається подія.

6. Подія – підграф розмірністю m загального орієнтованого графа, такий що:

- а) може бути представлений у вигляді дерева, коренем якого є вершина-метод;
- б) загальна кількість спрямованих ребер (та відповідних пар) з урахуванням подвійного зв'язку між вершиною-об'єктом та вершиною-методом дорівнює m ;
- с) у кожній вершині дерева кількість підлеглих вершин не може бути більшою за $m-1$.

Висновки

В результаті декомпозиції функціональної моделі образного мислення визначено 4 інформаційних потоки кількісної природи, 3 – якісної, 5 потоків з образами та 5 – з подіями. Запропонована формалізація асоціативної мережі образів у вигляді орієнтованого графа дозволяє врахувати особливості головних концептів моделі образного мислення – образу, пари образів і події та поставити їм у відповідність кількісні характеристики сенсу. При такому підході основні функції образного мислення [3, 6] можна формально звести до двох типів операцій:

- модифікації графа;
- пошуку вершин у графі, в тому числі з метою визначення маршруту.

Перспективним напрямком розвитку запропонованого підходу необхідно вважати застосування та модифікацію відомих алгоритмів пошуку у графі для розв'язання кола специфічних задач образного мислення – моделювання інсайту, побудови асоціативного ланцюга, генерації відповіді на питання, тощо.

Список літератури: 1. Пальчинов Д.Е. Моделирование мышления и формализация рефлексии: I. Теоретико-модельная формализация онтологии и рефлексии // *Философия науки*. – 2006. – № 4 (31). – С. 86–113. 2. Валькман Ю.Р., Исмаилова Л.Р. О языке образного мышления: Доклады междунар. конф. «Диалог 2004». – С. 90–97. 3. Bisikalo O. Principles

of concept model developing of image thinking. First International Conference “New Information Technologies in Education for All”, Extended Conference Proceedings (29–31 May 2006). – Kiev: Akadempriodika, 2006. – P. 25–34 (in Russian). 4. Соколов Е.Н., Вайткявичус Г. Г. Искусственный интеллект: от нейрона к нейрокompьютеру. – М.: Наука, 1990. – 237 с. 5. Лурия А.Р. Язык и сознание / Под ред. Е. Д. Хомской. – М.: Издательство Московского университета, 1979. – 320 с. 6. Бісікало О. В. Структура блоку пам'яті на основі моделі образного мислення людини // *Искусственный интеллект*. – 2007. – № 3. – С. 461–468.

Надійшла до редколегії 23.03.2009

УДК 004.9:159.955

Формализация образной памяти человека в виде графа / О. В. Бисикало // *Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал*. – 2009. – № 1(70). – С. 127–131.

В статье рассматривается общий подход к представлению образных потоков и других составляющих модели ассоциативной памяти человека в виде графа. На основе декомпозиции информационных потоков определены структура и формальные признаки ориентированного графа. В целях моделирования задач речевой деятельности предложены формальные критерии качества для оценки смысла образа и события. Ил.: 5. Библиогр.: 6 назв.

UDK 004.9:159.955

Formalization of the human image thinking in a graph form / Oleg V. Bisikalo // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* – 2009. – № 1(70). – P. 127–131.

The main approach to the introduction of image flows and other components of the human associative memory in the form of a graph form is considered in the given article. The structure and formal indications of a rough graph are defined on the decomposition of data flows. The formal quality criteria for evaluation of image and event sense are suggested aiming at modeling tasks of the speech activity.

Fig.: 5. Ref.: 6 items.