

УДК 681.518:004.93.1'



І.В. Шелехов¹, Д.В. Прилепа²

¹СумДУ, м. Суми, Україна, igor-i@ukr.net

²СумДУ, м. Суми, Україна, prilepa.dmitrij@meta.ua

ВИЗНАЧЕННЯ ЛІНІЇ СИМЕТРІЇ НА ЗОБРАЖЕННІ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ЕМОЦІЙНО-ПСИХІЧНОГО СТАНУ

Запропоновано інформаційно-екстремальний метод визначення центральної лінії симетрії за зображеннями обличчя людини при діагностуванні її емоційно-психічного стану. При цьому показано, що при психодіагностуванні центральна лінія симетрії вибирається за умови мінімальної різниці максимумів інформаційного критерію, визначених в процесі навчання для право- і лівопівкульних портретів людини. За результатами фізичного моделювання доведено, що пошук центральної лінії симетрії зображення обличчя людини дозволяє підвищити достовірність розпізнавання психоемоційного стану людини.

ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ, КРИТЕРІЙ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, ЛІНІЯ СИМЕТРІЇ, СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ЕМОЦІЙНО-ПСИХІЧНОГО СТАНУ

Вступ

Попереднє оброблення вхідних даних відіграє важливу роль в ефективному застосуванні методів комп'ютерної психодіагностики за зображенням обличчя [1]. До задач попереднього оброблення відносять нормалізацію зображення та стабілізацію його яскравості [2], локалізацію області обличчя на фото [3], детекцію областей очей та інших структурних елементів обличчя [4], відновлення поверхні обличчя в 3D-формі [5] тощо. Для більшості цих задач розроблено окремі алгоритми, що характеризуються малоефективним рівнем інтеграції з основними алгоритмами психодіагностування, але вважаються найбільш доречними для підвищення оперативності комп'ютерної психодіагностики. Можливість включення процедур попереднього оброблення вхідних даних у вигляді контурів категорійних моделей навчання психодіагностичної системи підтримки прийняття рішень (СППР) надає так звану інформаційно-екстремальну інтелектуальну технологію (ІЕІ-технологія) аналізу даних, що ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи в процесі її машинного навчання [6]. При цьому визначення оптимальних функціональних параметрів системи як для етапу попереднього оброблення, так і безпосереднього навчання розпізнаванню емоційно-психічного стану людини за зображенням її обличчя, здійснюється шляхом пошуку глобального максимуму інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ) в робочій (допустимій) області визначення його функції.

В статті розглядається інформаційно-екстремальний алгоритм машинного навчання системи діагностування емоційно-психічного стану людини за зображенням її обличчя з додатковою процедурою пошуку лінії симетрії обличчя.

1. Постановка задачі

Розглянемо формалізовану постановку задачі інформаційного синтезу системи діагностування емоційно-психічного стану людини за зображенням її обличчя, основною складовою якої є здатна навчатися СППР. Нехай дано алфавіт $\{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\}$ класів розпізнавання, які характеризують різні емоційно-психічні стани пацієнта, і навчальну матрицю яскравості пікселів рецепторного поля зображення обличчя пацієнта $\|y_{m,i}^{(j)}\|, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}$, де N, n – кількість ознак розпізнавання і реалізацій зображень відповідно. При цьому рядок матриці $\{y_{m,i}^{(j)} \mid i = \overline{1, N}\}$ визначає j -у реалізацію, а стовпчик $\{y_{m,i}^{(j)} \mid j = \overline{1, n}\}$ – навчальну вибірку значень i -ї діагностичної ознаки. Відомий структурований вектор параметрів навчання СППР

$$g = \langle x_m, d_m, \delta, h \rangle, \quad (1)$$

де x_m – еталонний (усереднений) вектор-реалізація зображення, вершина якого визначає геометричний центр контейнера класу X_m^o ; d_m – радіус контейнера класу X_m^o , що відновлюється в радіальному базисі простору ознак розпізнавання; δ – параметр симетричного поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання; h – відстань лінії симетрії від лівої межі рецепторного поля зображення. Необхідно на етапі навчання СППР оптимізувати контейнери класів розпізнавання, відновленні на h -му кроці навчання, де параметр h вибирається з практичних міркувань наближеним до середини рецепторного поля, за умови, що усереднене значення інформаційного КФЕ навчання системи приймає максимальне значення в робочій (допустимій) області визначення його функції

$$\bar{E} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \max_{G_E \cap \{h\}} E_m^{(h)} \quad (2)$$

де $E_m^{(h)}$ – інформаційний КФЕ, обчислений в

процесі навчання при поточному значенні радіуса гіперсферичного контейнера класу X_m^o ; G_E – робоча (допустима) область визначення функції КФЕ; $\{h\}$ – множина кроків навчання СППР.

2. Категорійна модель СППР

Оскільки процес психодіагностування є слабо формалізованим, то математичну категорійну модель здатної навчатися системи психодіагностування розглянемо у вигляді діаграми відображення відповідними операторами множин, що застосовуються в процесі інформаційно-екстремального навчання [7, 8]. При цьому вхідний математичний опис СППР подамо у вигляді структури множин

$$\Delta = \langle G, T, Z, \Omega, Y, X; P, \Phi_1, \Phi_2 \rangle,$$

де G – множина вхідних факторів; T – множина моментів часу зняття інформації; Ω – простір ознак розпізнавання; Z – простір можливих емоційно-психічних станів людини; Y – множина сигналів після первинної обробки інформації; P – оператор попередньої обробки зображення, що виконує формування ліво- та правопівкульного портрету з використанням лінії симетрії з відповідної термножини H ; $\Phi_1 : Z \times \Omega \rightarrow Y$ – оператор оброблення зображення (формування вибіркової множини Y на вході СППР); оператор Φ_2 перетворює вхідну евклідову навчальну матрицю Y у бінарну матрицю X .

Категорійну математичну модель інформаційно-екстремального машинного навчання СППР для розпізнавання емоційно-психічного стану людини показано на рис. 1

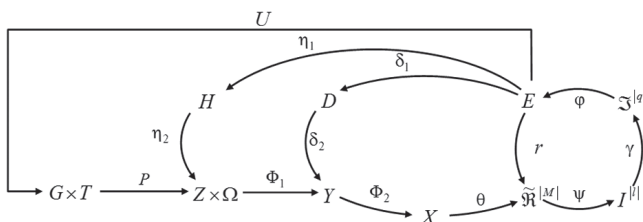


Рис. 1. Категорійна модель навчання СППР

На рис. 1 оператор θ будує розбиття $\mathfrak{R}^{|M|}$ простору ознак розпізнавання; оператор $\psi : \mathfrak{R}^{|M|} \rightarrow I^{|I|}$ шляхом перевірки основної статистичної гіпотези про належність реалізацій образу формує множину $I^{|I|}$, де I – кількість статистичних гіпотез; оператор γ формує множину точнісних характеристик $\mathfrak{Z}^{|q|}$, де $q = I^2$; а оператор ϕ обчислює термножину E , елементами якої є значення інформаційного КФЕ. Термножина D складається із допустимих значень системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання. При цьому оператори δ_1 і δ_2 відповідно виконують оцінку та регламентують процес оптимізації системи контрольних допусків. Оператор r замикає контур оптимізації геометричних параметрів розбиття $\mathfrak{R}^{|M|}$. Додатково

категорійна модель включає контур відновлення лінії симетрії, який реалізується операторами η_1 і η_2 . Крім того, оператор U регламентує процес навчання.

Таким чином, категорійна модель показана на рис. 1 визначає структуру алгоритму машинного навчання системи психодіагностування за зображенням обличчя, який полягає в наближенні інформаційного КФЕ до його максимального граничного значення.

3. Алгоритм навчання

Згідно з категорійною моделлю рис. 1 інформаційно-екстремальне навчання СППР у загальному випадку здійснюється за багатоциклічною ітераційною процедурою пошуку глобального максимуму інформаційного КФЕ в робочій (допустимій) області визначення його функції, яка у випадку оптимізації параметра h положення лінії симетрії на зображенні обличчя має вигляд

$$h^* = \arg \min_{G_h} \left\{ \otimes \max_{G_\delta} \left\{ \max_{G_E \cap \{h\}} \bar{E}^{(h)} \right\} \right\} \quad (3)$$

де $\bar{E}^{(h)}$ – усереднене значення КФЕ навчання системи психодіагностування, обчислене на h -му кроці навчання; G_h – область допустимих значень параметра h положення лінії симетрії обличчя; G_δ – область допустимих значень системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання; $\otimes$ – символ операції повторення.

Як КФЕ машинного навчання СППР може використовуватися нормована ентропійна міра Шеннона [9], яка для рівномірних двоальтернативних рішень має вигляд

$$E_m^{(h)}(d) = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha^{(h)}(d)}{\alpha^{(h)}(d) + D_2^{(h)}(d)} \log_2 \frac{\alpha^{(h)}(d)}{\alpha^{(h)}(d) + D_2^{(h)}(d)} + \frac{\beta^{(h)}(d)}{D_1^{(h)}(d) + \beta^{(h)}(d)} \log_2 \frac{\beta^{(h)}(d)}{D_1^{(h)}(d) + \beta^{(h)}(d)} + \frac{D_1^{(h)}(d)}{D_1^{(h)}(d) + \beta^{(h)}(d)} \log_2 \frac{D_1^{(h)}(d)}{D_1^{(h)}(d) + \beta^{(h)}(d)} + \frac{D_2^{(h)}(d)}{\alpha^{(h)}(d) + D_2^{(h)}(d)} \log_2 \frac{D_2^{(h)}(d)}{\alpha^{(h)}(d) + D_2^{(h)}(d)} \right) \quad (4)$$

де $D_{1,m}^{(h)}(d)$, $D_{2,m}^{(h)}(d)$ – перша та друга достовірності відповідно, обчислені на кожному кроці навчання при поточному радіусі d контейнера класу розпізнавання X_m^o ; $\alpha^{(h)}(d)$, $\beta^{(h)}(d)$ – відповідно помилка першого та другого роду.

В рамках ІЕІ-технології відновлення роздільних гіперповерхонь класів розпізнавання відбувається в радіальному базисі бінарного простору ознак. У цьому випадку замкнену роздільну гіперповерхню,

для якої деяким способом визначено геометричний центр будемо називати контейнером відповідного класу розпізнавання. При цьому тип побудованих на етапі машинного навчання вирішальних правил визначається геометричною формою контейнерів класів розпізнавання.

Аналіз алгоритму (3) показує, що він представляє собою трьохциклічну процедуру пошуку глобального максимуму інформаційного критерію оптимізації (4). При цьому зовнішній цикл оптимізує параметр h переміщення лінії симетрії зображень обличчя людини. Наступний вкладений цикл оптимізує параметр δ поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання. Функціями внутрішнього циклу є:

- обчислення на кожному кроці навчання інформаційного критерію (4);
- пошук глобального максимуму інформаційного критерію в робочій області визначення його функції;
- визначення оптимальних геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання.

Таким чином, оптимізація контейнерів класів розпізнавання полягає в ітераційній процедурі пошуку глобального максимуму критерію (4) в робочій (допустимій) області визначення його функції.

4. Результати моделювання алгоритму навчання

Вхідний математичний опис сформовано за графічними даними, наведеними в праці [10]. З метою оцінки функціональної ефективності навчання СППР реалізовано пошук лінії симетрії для фазових портретів, яка визначалася спочатку оператором візуально, а потім в процесі інформаційно-екстремального навчання підбиралася автоматично за процедурою (3). З метою редукції вирішальних правил розглядалися гіперсферичні контейнери класів розпізнавання. Дослідження виконувалося на прикладі розпізнавання одного класу, який характеризував нестабільний стан пацієнта. При цьому фотографії людини розділялися на праву та ліву половини, кожна з яких відображалася дзеркально по лінії симетрії та поєднувалася зі своєю копією.

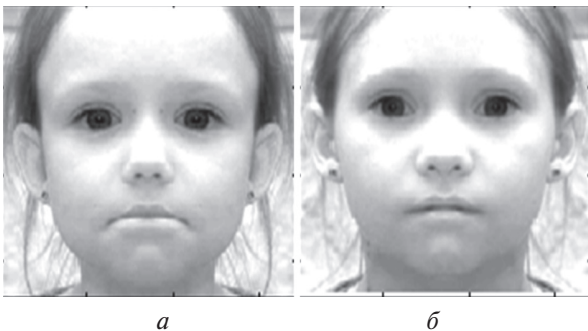


Рис. 2. Графічне відображення зображень відносно лінії симетрії, що визначалася візуально: a – лівопівкульний портрет, b – правопівкульний портрет

На рис. 2 показано зображення лівопівкульного і правопівкульного портретів, сформованих за умови, що лінія симетрії задавалася оператором візуально, тобто вручну. За результатами оброблення показаних на рис. 2 зображень було сформовано вхідну навчальну матрицю яскравості пікселів рецепторного поля розміром 150×150 пікселів. При цьому зчитування яскравості пікселів рецепторного поля здійснювалося в декартовій системі координат.

Результати оптимізації геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання, що відновлюються в радіальному базисі простору ознак за інформаційно-екстремальним алгоритмом навчання (3), за умови, що при формуванні портретів (рис. 2) лінія симетрії визначалася оператором візуально, показано на рис. 3.

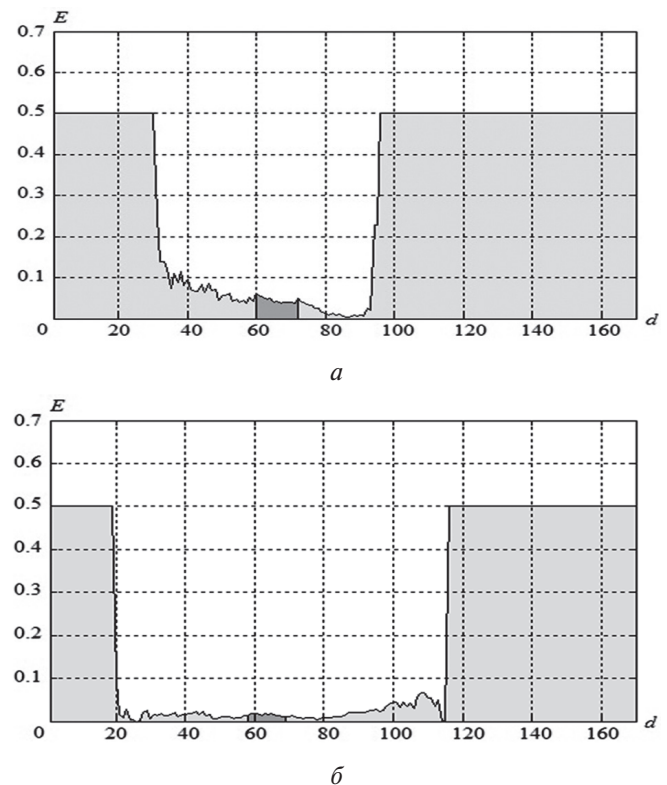


Рис. 3. Графіки залежності КФЕ (4) від радіусів контейнерів класів розпізнавання при ручному пошуку лінії симетрії: a – клас X_1^o ; b – клас X_2^o

На рис. 3 темними ділянками позначена робочі (допустимі) області визначення функції критерію (4), в яких значення першої та другої достовірностей перевершують відповідно значення помилок першого і другого роду. При цьому портрети особи з нестабільним станом характеризують клас X_1^o , сформований із лівопівкульних портретів (рис. 3а), і клас X_2^o , сформований із правопівкульних (рис. 3б).

Автоматичне визначення лінії симетрії в процесі інформаційно-екстремального навчання системи діагностуванні емоційно-психічного стану

людини здійснювалося шляхом пошуку глобального мінімуму усередненого критерію оптимізації параметра зміщення лінії симетрії, який характеризував мінімальну відмінність лівопівкульного і правопівкульного портретів. При цьому як стартова приймалася лінія симетрії, що в попередньому випадку визначалася візуально.

На рис. 4 показано динаміку зміни усередненого КФЕ (4) під час автоматичного пошуку лінії симетрії.

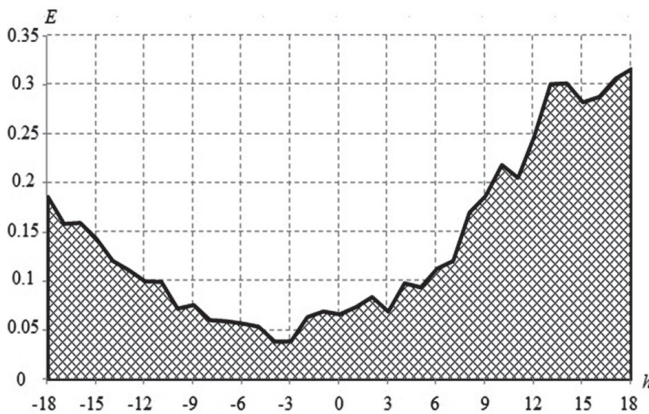


Рис. 4. Графік зміни усередненого КФЕ

Аналіз результатів (рис. 4), показує що мінімальне значення усередненого КФЕ дорівнює 0.04 при стартовому значенні 0.07. При цьому лінія симетрії розташована на три пікселі лівіше ніж та, яку було визначено візуально.

Крім того, варто зазначити, що пошук оптимального параметра h в процесі машинного навчання здійснювався в робочій області визначення інформаційного критерію, оскільки на кожному кроці навчання оптимізувалися як контрольні допуски на ознаки розпізнавання, так і радіуси контейнерів класів розпізнавання.

З метою побудови оптимальних вирішальних правил було реалізовано інформаційно-екстремальне машинне навчання системи психодіагностування із оптимізацією системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання при автоматично визначенні за алгоритмом (3) лінії симетрії лівопівкульного і правопівкульного портретів. Попередньо було здійснено реконструкцію показаних на рис. 2 портретів із застосуванням дзеркального відображення відносно автоматично знайденої лінії симетрії відповідно лівопівкульного і правопівкульного портретів. Реконструйовані зображення показано на рис. 5.

На рис. 6 показано графіки залежності інформаційного критерію (4) від радіусів контейнерів класів розпізнавання, що відновлюються в радіальному базисі простору ознак за ітераційним алгоритмом машинного навчання (3) із автоматичним пошуком лінії симетрії.

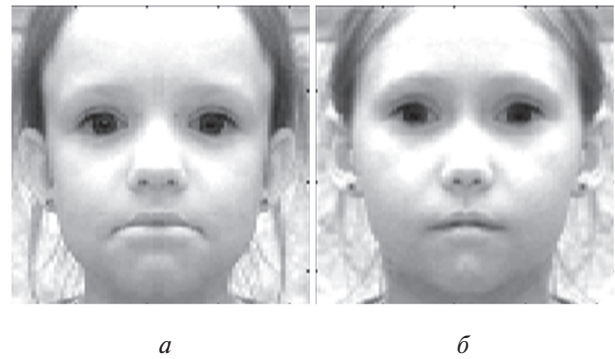


Рис. 5. Графічне відображення зображень відносно лінії симетрії, визначеної автоматично в процесі навчання системи: а — лівопівкульний портрет; б — правопівкульний портрет

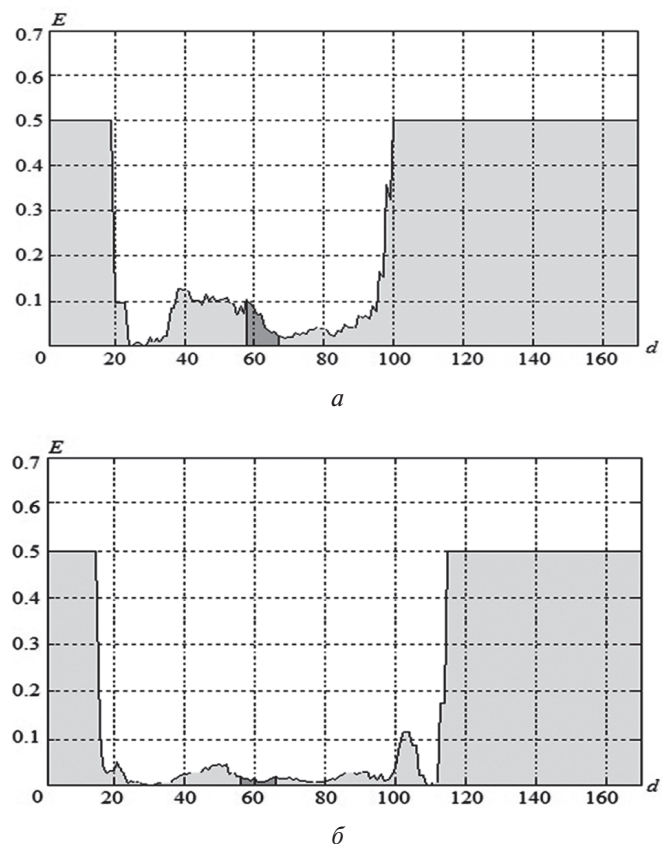


Рис. 6. Графіки залежності КФЕ (4) від радіусів контейнерів класів розпізнавання при автоматичному пошуку лінії симетрії: а — клас X_1^o ; б — клас X_2^o

На рис. 6 оптимальні значення радіусів контейнерів класів розпізнавання визначалися за навчальними матрицями, сформованою за реконструйованими портретами, показаними на рис. 5. При цьому лівопівкульні портрети особи з нестабільним станом характеризувалися класом X_1^o (рис. 6, а), а правопівкульні портрети — класом X_2^o (рис. 6, б). Порівняльний аналіз максимальних значень інформаційного критерію (4), обчислених в робочій області визначення його функції (рис. 3 і рис. 6), дозволяє стверджувати, що автоматичне визначення лінії симетрії лівопівкульних і правопівкульних

портретів показує зменшення їх відмінності, що підвищує достовірність діагностування емоційно-психічного стану людини через усунення впливу антропологічної асиметрії обличчя людини.

Висновки

В роботі запропоновано модифікацію відомої технології відео-комп'ютерної психодіагностики та корекції шляхом її інтеграції з інформаційно-екстремальною інтелектуальною технологією, що дозволяє підвищити достовірність діагностування за довільних початкових умов формування зображень обличчя людини, що діагностується.

Розроблено та програмно реалізовано алгоритм функціонування інтелектуальної системи оцінки емоційно-психічного стану пацієнта в режимі навчання системи діагностування за інформаційно-екстремальною інтелектуальною технологією дозволяє визначити автоматично лінію симетрії дзеркального відображення лівопівкульних і правопівкульних портретів, що дозволяє зменшити вплив антропологічної асиметрії обличчя на достовірність психодіагностування.

Список літератури:

1. *Leeland, K.B.* Face Recognition: New Research [Text] / K.B. Leeland — Nova Publishers, 2008. — 157 P.
2. *Huang, K.*, Symmetry-based photo-editing. Pattern Recognition / K. Huang, W. Hong, Y. Ma// - vol.38(6), 2005. P. 825 - 834.
3. *Young-Jun Song*, Face recognition robust to left/right shadows; facial symmetry / Young-Jun Song, Young-Gil Kim, Un-Dong Chang, Heak Bong Kwon// — Pattern Recognition, 2006. — vol.39(8), P. 1542–1545.
4. *Kukharev, G.*, Techniki Biometryczne: Część / G. Kukharev, A. Kuźmiński // — Szczeric (Poland): Pracownia Poligraficzna WI PS, 2003. — 310 P.
5. *Kevin, W.* A survey of approaches and challenges in 3D and multi-modal 3D + 2D face recognition / Kevin W. Bowyer, Kyong Chang, Patrick Flynn// — Computer Vision and Image Understanding, 2006. — vol.101(1), P. 1–15.
6. *Довбиш, А.С.* Основи проектування інтелектуальних систем: навчальний посібник [Текст] / А.С. Довбиш — Суми: Вид-во СумДУ, 2009. — 171 с.
7. *Шелехов, І.В.* Оптимізація параметрів навчання комп'ютеризованої системи діагностування емоційно-психічного стану людини [Текст] / І.В. Шелехов, Д.В. Прилепа // - *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, 2014. — №1(65). — С. 161-167.
8. *Довбиш, А.С.* Інформаційно-екстремальний алгоритм навчання системи діагностування емоційно-психічного стану людини [Текст] / А.С. Довбиш, І.В. Шелехов, Д.В. Прилепа // *Радіоелектроніка, інформатика, управління*, 2014. — №2(31). — С. 156 — 163.
9. *Довбиш, А.С.* Інтелектуальні інформаційні технології в електронному навчанні [Текст] / А.С. Довбиш, А.В. Васильєв, В.О. Любчак // — Суми: Видавництво СумДУ, 2014. — 172 с.
10. *Ануашвили, А.Н.* Объективная психология на основе волновой модели мозга [Текст] / А.Н. Ануашвили - Москва: Экон-Информ, 2008. — 292 с.

Поступила в редколегію 15.11.2016