

Ю. Є. Лях, А. М. Черняк, В. Г. Гур'янов, Ю. Г. Вихованець

Кількісна оцінка психофізіологічного стану людини за успішністю виконаної роботи

В статті показана можливість прогнозування оцінки успішності виконаної роботи методом самоорганізуючих карт Кохонена. Побудована математическа модель, котра дозволяє оцінити успішність виконаної роботи по времени реакції на пред'явлений світловий сигнал и скорости переработки информации. Модель может быть использована для оценки психофизиологического состояния человека в процессе деятельности.

ВСТУП

Вивченню психофізіологічних станів людини і методам їх об'єктивізації відводиться важлива роль у фізіологічних дослідженнях. Кількісна характеристика цих станів пов'язана з певними труднощами. Традиційно оцінка психофізіологічних станів людини основана на вивченні різних систем організму, тому на її формування може впливати велика кількість факторів, хоч ступінь впливу кожного з них різний, як різні і методи оцінки [8,9]. Одним з таких методів є об'єктивізація психофізіологічного стану людини через оцінку успішності виконаної роботи (УВР), яка виражається в балах. Зокрема, при вивченні психофізіологічного стану курсантів вищого військового училища на основі експериментального матеріалу та імітаційного моделювання (метод Монте-Карло) була запропонована та обґрунтована формула для розрахунку УВР за значеннями швидкості переробки інформації (ШПІ), стабілометрії (радіус інтегральної похибки стеження – ІПС) і частоти серцевих скорочень (ЧСС) [2]: $УВР = 2,9 + 0,39ШПІ - 0,01ІПС - 0,015ЧСС$ (1)

Проаналізуємо це рівняння. Середня величина інтегральної похибки стеження - ІПС_{сер.} = 18,81 ум.од. [2], при цьому 95%-й вірогідний інтервал для ІПС_{сер.} знаходиться

в межах від 16,75 до 20,89 ум.од. Замінивши в формулі (1) передостанній доданок його середнім значенням, маємо:

$$УВР' = 0,39ШПІ - 0,015ЧСС + 2,71 \quad (2)$$

При цьому для 95% обстежених (УВР - УВР') < 0,02. Отже, з похибкою, яка не перевищує 0,02 бала, оцінка УВР може бути розрахована за формулою (2) (УВР ≈ УВР'). Цю формулу ми і будемо використовувати далі.

Приймаючи до уваги те, що формула для розрахунку УВР була початково запропонована для оцінки психофізіологічного стану фізично здорових молодих людей віком від 18 до 28 років, необхідно встановити можливість застосування цієї формули і для інших категорій обстежених.

Для вирішення поставленої задачі було використано метод нейромережевого моделювання, зокрема, карт Кохонена [1,3,7,10,11].

Як вхідні перемінні у нашому дослідженні було відібрано 11 показників: по 5 значень часу реакції (ЧР) і швидкості переробки інформації (ШПІ), а також показник вегетативного балансу (ВБ), які певною мірою визначають оцінку УВР. У цьому разі нейронна мережа виділить кластери таким чином, що спостереження, віднесені до одного класу, будуть мати близьку оцінку УВР.

Це дозволить створити математичну модель оцінки УВР за вказаним набором вхідних ознак.

МЕТОДИКА

Для більш розширеного застосування формули розрахунку УВР при визначенні психофізіологічного стану людини було обстежено 11 чоловіків і 14 жінок віком від 17 до 67 років у різний час доби (до початку робочого дня і по його закінченні). Вивчали ЧР на подразник, ШПІ, електричний опір шкіри перемінному струму (ЕОШ), зміну артеріального тиску (АТ) і ЧСС до експерименту та після його закінчення.

ЧР, ШПІ і ЕОШ вимірювали за допомогою "Устройства для функциональной диагностики организма" (ТУ У 25120900.001-99) [6]. Вказаний пристрій складається з контролера на базі мікроЕОМ, функціональних клавіш, пристрою відображення інформації (екрана), блока виміру електричного опору шкіри, блока живлення та робочої панелі, на якій розташовано вісім кнопок з світловими індикаторами. Контролер керує цими індикаторами і аналого-цифровим перетворювачем. Його робота здійснюється за алгоритмом, реалізованим в керуючій програмі. Після появи повідомлення про готовність пристрою до роботи експериментатор натискає клавішу "Старт" і запускає роботу контролера. Спалахує вмонтований в кнопку пульта індикатор, вибір якого виконується за законом випадку. Загасити його можна натисканням цієї кнопки. Наступний сигнал подається тільки після того, як згасне попередній. Після кожної реакції обстеженого на сигнал автоматично вимірюються ЧР (час від моменту спалаху індикатора до моменту натискання на "правильну" кнопку) і ЕОШ, а також розраховується ШПІ. Ця інформація сумісно з номером спроби та кількістю помилок за серію виводиться на екран. Кожна серія нараховує 100 пред'явлень сигналу. Після сотого сигналу індикатор більше не спалахує, а на екран виводиться інформація про се-

редні ЧР, ШПІ, кількість помилок за поточну серію.

До початку експерименту за допомогою автоматичного тонометра "Omron Blood Pressure Monitor НЕМ – 704 С" вимірювали частоту пульсу і АТ. Далі розраховували хвилинний об'єм крові (ХОК), індекс Кердо (ІК), за яким оцінювали ВБ нервової системи, відношення діастолічного АТ до систолічного (АТ_д/АТ_с) і середній АТ (АТ_{сер.} = $\sqrt{АТ_с \cdot АТ_д}$).

Обстеженому пропонували максимально швидко загасити спалахуючу на панелі лампочку натисканням відповідної кнопки. Після 500 пред'явлень сигналу вимірювали АТ і ЧСС, розраховували ХОК, ІК, АТ_{сер} і АТ_д/АТ_с, а також по кожній сотні сигналів – середні значення ЕОШ, ЧР, ШПІ, кількість помилкових реакцій (N_{пом}).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Всього було проведено 209 вимірювань. Крім того, у кожного обстеженого фіксували антропометричні дані, наявність хронічних захворювань і травм в анамнезі. Результати досліджень і показники первинної їх обробки (середні значення (X_{сер}), похибки середніх (m), медіани (Me), середні квадратичні відхилення (σ), квартилі (25 і 75%), мінімальні (X_{min}) і максимальні (X_{max}) значення) відображені в табл.1. Оцінку УВР розраховували за формулою (2).

Як видно, середня оцінка УВР в групі обстежених становила 3,9 бала, але це не дає нам уяви про те, якою фізіологічною "ціною" забезпечений такий бал. У зв'язку з цим спробували розділити обстежених на групи з урахуванням всіх наявних результатів (фізіологічних і антропометричних). Крім того, оскільки в експерименті брали участь особи чоловічої і жіночої статі, було проведено оцінку різниці показників за цією ознакою (табл. 2).

Слід зазначити, що середні оцінки УВР у чоловіків і жінок не відрізняються між собою. Критерій кутового перетворення Фішера (φ*) [4,5] на рівні значимості P=0,05

Таблиця 1. Результати психофізіологічного експерименту

Показник	Хсер	m	Me	δ	Квартілі		Xmin	Xmax
					25%	75%		
Вік, роки	29,3	1,1	18	16,3	18	52	17	67
Зріст, см	167,7	0,6	166	8,5	161	170	155	190
Маса, кг	66,2	0,8	65	11,0	64	78	48	94
Артеріальний тиск, мм рт.ст.								
сistolічний	120,9	1,0	120	14,5	111	129	91	178
діастолічний	75,7	0,8	74	12,1	70	83	51	115
Частота серцевих скорочень, хв ⁻¹	77,6	0,9	77	12,9	71	89	52	109
Індекс Кердо, ум.од.	-0,24	1,6	4,65	23,6	-9,36	17,9	-88,5	49,5
Вегетативний баланс	0,05	0,06	0	0,8	-1	1	-1	1
Хвилинний об'єм крові, мл	3695	69	3568	998	2900	4360	1337	8496
Середній артеріальний тиск, мм рт.ст.	95,5	0,9	94,7	12,4	89	102	70,2	131,9
АТд/АТс	0,63	0,01	0,6	0,07	0,6	0,7	0,4	0,8
Час реакції на подразник, мс	364,1	3,6	351,8	52,7	365	428	279,2	552,6
Швидкість переробки інформації, біт/с	8,32	0,07	8,54	0,96	7,08	8,27	5,4	9,82
Успішність виконаної роботи, бал	3,90	0,04	4	0,5	3	4	3	5

підтвердив відсутність різниці між вибірками, які вивчаються, за УВД, тому подальша обробка результатів психофізіологічного експерименту проводилася без розділення обстежених за статтю.

Враховуючи той факт, що між шкалами різних показників можуть бути нелінійні складні, а часто й неоднозначні відповідності, для виділення однорідних груп обстежених доцільно скористатися методом нейромережевого моделювання з побудовою мереж Кохонена. Відповідно до оцінки УВР (3,4,5 балів) і можливою присутністю двох проміжних груп було вирішено побудувати нейронну мережу Кохонена з п'ятьма вихідними ней-

ронами. Як вхідні було відібрано 11 перемінних: по 5 значень ЧР і ШПІ, а також індекс ВБ. Після навчання мережі розпізнавати належність обстеженого до однієї з п'яти груп було побудовано декілька мереж Кохонена, що дозволило тим самим виявити стійкість сформованих груп (табл. 3).

Як видно з аналізу, у групах середня УВР різна, однак обстежені розподілені нерівномірно. Першу групу з УВР, яка становить 4,6 склали 23 вимірювання, причому з них 87% належать жінкам, в другу групу (УВР=4,3) попав 31 вимір, з цієї кількості жінкам належать 26%, в третю (УВР=4,0) – 66 вимірювань (жінкам належать 65%), до

Таблиця 2. Результати обробки експериментальних результатів залежно від статі обстежених

Показник	Чоловіки (n = 94)			Жінки (n = 115)		
	Хсер	m	σ	Хсер	m	δ
Вік, роки	29,3	1,7	16,4	29,2	1,5	16,3
Зріст, см	174,5	0,8	7,8	162,2	0,4	3,9
Маса, кг	71,7	1,0	10,1	61,8	0,9	9,6
Артеріальний тиск, мм рт.ст.						
систоличний	123,2	1,6	15,4	119,0	1,3	13,5
діастолічний	76,9	1,4	13,3	74,7	1,0	11,0
Частота серцевих скорочень, хв ⁻¹	72,8	1,1	10,6	81,4	1,3	13,4
Індекс Кердо, ум.од.	-8,0	2,7	26,2	6,1	1,8	19,1
Вегетативний баланс	-0,15	0,1	0,8	0,2	0,1	0,8
Хвилинний об'єм крові, мл	3407	89	364	3749	100	1074
Середній артеріальний тиск, мм рт.ст.	97,2	1,4	13,8	94,2	1,0	11,1
АТд/АТс	0,62	0,01	0,07	0,63	0,01	0,07
Час реакції на подразник, мс	368,7	5,2	50,5	360,4	5,1	54,3
Швидкість переробки інформації, біт/с	8,30	0,1	0,9	8,35	0,1	1,0
Успішність виконаної роботи, бал	3,90	0,05	0,47	3,90	0,05	0,55

Примітка: n - кількість вимірювань.

четвертої (УВР=4,0) і п'ятої (УВР=3,5) віднесено 38 і 51 вимір відповідно (особам жіночої статі належать в четвертій групі 29%, у п'ятій – 65%)

Таким чином, використовуючи нейромережеве моделювання, ми довели, що формула для розрахунку УВР, яка була запропонована для молодих чоловіків віком від 18 до 28 років, успішно “працює” і при дослідженні інших категорій обстежених. Як бачимо, в третій і четвертій групах середній бал однаковий. При аналізі інших результатів також виявилися незначні відміни в середніх значеннях при практично однаковому середньоквадратичному відхиленні. Однак виявилось, що до третьої групи віднесено випадки з явним перебільшенням тонузу симпатично-

го відділу нервової системи (індекс ВБ дорівнює одиниці при нульовому середньому квадратичному відхиленні), а до четвертої – явні нормотоніки (індекс ВБ дорівнює нулю при нульовому ж середньоквадратичному відхиленні). Випадки з перебільшенням тонузу парасимпатичного відділу нервової системи поділені між другою групою, в якій індекс ВБ дорівнює -1, а $\delta=0$, і п'ятою (індекс ВБ виявився приблизно рівним -0,7, а $\delta \approx 0,6$), в якій середній бал найнижчий – 3,5. У першій групі з найвищою оцінкою УВР коефіцієнт ВБ виявився рівним 0,3, а $\delta \approx 0,5$. Це говорить про те, що в цю групу попали результати обстеження людей з різними типами нервової регуляції. На основі цих результатів ми припустили, що тип нервової

Таблиця 3. Результати обробки результатів дослідження при діленні на групи за допомогою нейронної мережі Кохонена з п'ятьма вихідними нейронами

Показник	I група (n=23)		II група (n=31)		III група (n=66)		IV група (n=38)		V група (n=51)	
	Хсер	σ	Хсер	σ	Хсер	σ	Хсер	σ	Хсер	σ
Вік, роки	17,7	1,0	33,0	16,3	19,4	7,3	19,0	7,3	48,4	14,7
Зріст, см	165,9	8,2	171,6	9,5	169,3	10,2	169,4	9,9	164,4	6,8
Маса, кг	57,5	8,0	68,7	8,7	59,2	9,4	64,3	10,0	73,1	11,3
Артеріальний тиск, мм рт.ст.										
систолічний	118,4	9,1	126,7	13,2	111,4	8,6	117,9	11,3	126,5	17,7
діастолічний	73,3	9,7	83,8	12,8	63,9	8,4	71,6	7,0	82,2	12,7
Частота серцевих скорочень, хв ⁻¹	80,0	12,3	64,4	6,5	79,3	10,1	74,0	8,3	71,6	11,3
Індекс Кердо, ум.од.	43,5	15,6	60,8	31,4	45,7	26,0	49,4	19,3	67,1	31,6
Вегетативний баланс	0,3	0,5	-1,0	0	1,0	0	0	0	-0,7	0,56
Хвилинний об'єм крові, мл	3732	556	2638	636	4272	662	3589	480	3046	694
Середній артеріальний тиск, мм рт.ст.	93,0	9,2	102,9	12,3	84,2	7,8	91,8	8,3	101,9	14,5
АТд/АТс	0,62	0,07	0,66	0,07	0,57	0,07	0,61	0,04	0,66	0,06
Час реакції на подразник, мс	293,8	19,91	330,4	29,4	328,6	25,3	342,2	24,3	431,4	52,4
Швидкість переробки інформації, біт/с	9,44	0,44	9,03	0,64	9,04	0,57	8,78	0,57	7,04	0,81
Успішність виконаної роботи, бал	4,6	0,5	4,3	0,4	4,0	0,2	4,0	0,0	3,5	0,5

регуляції не має вирішальної ролі в формуванні оцінки УВР. У зв'язку з цим було вирішено побудувати нову нейронну мережу, виключивши з числа вхідних перемінних показник ВБ і скоротивши один вихідний нейрон (табл. 4).

У першу групу об'єднано 24 вимірювання, з яких $\approx 92\%$ належать жінкам, в другій групі з 63 вимірювань особам жіночої статі належать 54%, в третій і четвертій – 37 і 65% відповідно з 73 і 49 вимірів.

Слід зазначити, що мережа Кохонена чітко виділила групу обстежених з високою оцінкою УВР, дві групи з проміжним балом і одну – з низьким показником. При цьому виявилось, що як і раніше між двома середн-

іми групами існує дуже незначна різниця, як за значенням УВР (4,1 – в другій групі і 3,9 – в третій при однаковому середньоквадратичному відхиленні – 0,3), так і за рештою показників, які вивчалися.

Враховуючи цей факт, було вирішено побудувати ще одну нейронну мережу Кохонена, скоротивши кількість вихідних нейронів до трьох. Аналіз результатів по-новому виділених груп показав, що найбільш доцільним у цьому випадку виявилось виділення саме трьох груп обстежених (табл. 5).

Як видно, в першу групу попало 35 вимірів, причому, 80% з них належать жінкам, в другу – 92 вимірювання, з них жінкам належать 44%, в третю об'єднано 82 виміра,

Таблиця 4. Результати обробки результатів досліджень при діленні на групи за допомогою нейронної мережі Кохонена з чотирма вихідними нейронами

Показник	I група (n=24)		II група (n=63)		III група (n=73)		IV група (n=49)	
	Хсер	σ	Хсер	σ	Хсер	σ	Хсер	σ
Вік, роки	17,8	1,0	21,3	9,7	27,2	14,2	48,1	14,6
Зріст, см	165,0	7,6	169,4	9,5	169,0	8,1	165,0	7,5
Маса, кг	56,0	6,7	64,7	9,8	65,7	9,8	74,0	10,8
Артеріальний тиск, мм рт.ст.								
систолічний	119,7	9,4	120,7	13,5	119,3	14,1	124,2	17,9
діастолічний	74,5	11,9	74,0	11,9	75,1	10,8	79,6	13,6
Частота серцевих скорочень, хв ⁻¹	82,6	12,6	79,3	13,2	76,3	13,3	74,8	11,3
Індекс Кердо, ум.од.	44,1	14,6	44,6	22,1	55,9	30,0	67,4	30,7
Вегетативний баланс	0,3	0,6	0,2	0,9	0,1	0,8	-0,3	0,8
Хвилиний об'єм крові, мл	3875	1010	3826	1097	3498	991	3305	765
Середній артеріальний тиск, мм рт.ст.	94,5	10,7	94,3	11,3	94,5	11,5	99,4	15,3
АТд/АТс	0,62	0,1	0,61	0,1	0,64	0,1	0,64	0,1
Час реакції на подразник, мс	294,5	20,4	328,6	20,5	368,4	44,5	437,7	49,2
Швидкість переробки інформації, біт/с	9,38	0,5	9,1	0,5	8,24	0,7	6,93	0,7
Успішність виконаної робота, бал	4,5	0,5	4,1	0,3	3,9	0,3	3,4	0,5

Примітка: n – кількість вимірювань (тут і в табл.5).

з яких 57% результати жінок. Слід зазначити, що в усіх побудованих мережах Кохонена в першу групу (з найвищим балом) завжди попадає більша кількість результатів обстеження жінок (87, 92, 80%), ніж чоловіків. Це викликало необхідність ще раз перевірити наявність різниці в УВР серед чоловіків і жінок у кожному з виділених кластерів. Порівняння результатів УВР серед чоловіків і жінок наведено в табл. 6.

Використовуючи критерій ϕ для оцінки достовірності різниці між відсотковими частками двох вибірок (чоловіки і жінки), при рівні значимості 0,05 доведено відсутність різниці між вказаними вибірками.

Аналіз результатів експерименту по групам і порівняння між собою результатів кож-

ної з трьох виділених нейронною мережею груп методом порівнянь Шеффе [4,5] на рівні значимості $P=0,05$ виявили наявність достовірної різниці між цими групами за всіма показниками крім ВВ. За цим показником між першою і другою групами різниці не виявлено. З'ясувалося, що є чітка залежність УВР від віку: з віком вона знижується від 4,5 при середньому віці 17,8 і стандартному відхиленні 1,0 до 3,6 у разі середнього віку 41,0 і $\delta = 17,3$, що підтверджується і даними інших досліджень [2,8,9]. Збільшення середнього значення маси тіла обстежених послідовно від першої до третьої групи, як і збільшення артеріального тиску, ймовірно, пов'язане з віковими змінами організму, а зменшення ЧСС від 82,4 в групі з середньою УВР від 4,5 до

Таблиця 5. Результати обробки результатів досліджень при діленні на групи за допомогою нейронної мережі Кохонена з трьома вихідними нейронами

Показник	I група (n=35)		II група (n=92)		III група (n=82)	
	Хсер	σ	Хсер	σ	Хсер	σ
Вік, роки	17,8	1,0	23,2	11,5	41,0	17,3
Зріст, см	167,6	10,2	169,0	8,3	166,4	7,9
Маса, кг	59,4	10,3	65,1	9,6	70,5	11,1
Артеріальний тиск, мм рт.ст.						
систоличний	118,5	9,1	119,8	14,4	123,2	16,2
діастолічний	73,5	11,2	73,5	11,5	79,2	13,4
Частота серцевих скорочень, хв ⁻¹	82,4	13,3	78,3	12,0	74,8	13,1
Індекс Кердо, ум.од.	47,3	20,9	47,8	26,0	63,4	30,1
Вегетативний баланс	0,3	0,7	0,2	0,8	-0,2	0,8
Хвилиний об'єм крові, мл	3873	959	3774	1094	3276	808
Середній артеріальний тиск, мм рт.ст.	93,1	9,9	93,7	11,5	98,7	13,8
АТд/АТс	0,62	0,08	0,61	0,08	0,65	0,06
Час реакції на подразник, мс	301,0	22,5	341,9	30,1	416,0	59,2
Швидкість переробки інформації, біт/с	9,37	0,5	8,8	0,6	7,3	0,9
Успішність виконаної роботи, бал	4,5	0,5	4,0	0,2	3,6	0,5

74,8 при зниженні середньої оцінки УВР до 3,6 - зі зміною ВБ від 0,3 до -0,2 у відповідних групах. Зниження УВР закономірно супроводжується збільшенням ЕОШ ($P < 0,05$), що є несприятливою реакцією [2]. Попередні наші дослідження [8,9] дозволили побудува-

ти нелінійну математичну модель (чотиришаровий перцептрон), що відображує залежність УВР від п'яти вхідних показників: віку, маси тіла, середнього АТ, ЕОШ і ЧСС, які було відібрано за допомогою генетичного алгоритму відбору значущих вхідних змінних з 14

Таблиця 6. Порівняльна характеристика результатів ділення обстежених на групи за даними успішності виконаної роботи залежно від статі обстежених

Кількість досліджень	Чоловіки (n = 94)				Жінки (n=115)			
	"5"	"4"	"3"	всього	"5"	"4"	"3"	всього
Кількість досліджень, віднесених до								
1-ї групи	4	3	-	7	12	16	-	28
2-ї групи	2	49	1	52	-	39	1	40
3-ї групи	-	21	14	35	-	25	22	47

початкових величин. Отримана модель прогнозує оцінку УВР за цими вхідними показниками з імовірністю 92%. Теперішніми дослідженнями доведено, що тринейронна мережа Кохонена з достовірністю більшою за 0,95, виявила наявність різниці між середніми значеннями показників, які вивчаються, у виділених нею групах, що дозволило здійснити ділення обстежених на групи тільки на підставі часу реакції і швидкості переробки інформації.

Таким чином, по-перше, доведено можливість застосування формули для оцінки успішності виконаної роботи для широкого кола обстежених (в нашому випадку – чоловіків і жінок віком від 17 до 67 років), по-друге, методом побудови карт Кохонена підтверджено, що оцінка успішності виконаної роботи може бути визначена за допомогою виміру часу реакції і швидкості переробки інформації, по-третє, запропонована нейромережева модель, яка дозволяє оцінювати успішність виконаної роботи за мінімальною кількістю вхідних показників (часу реакції і швидкості переробки інформації).

**Yu. Liakh, A. Chernyak, V. Guryanov,
Yu. Vikhovanets**

SIMULATION BY THE NEURAL NETWORKS OF SUCCESSFULNESS OF DONE WORK BY THE PERSON

Ability of prediction successfulness of done work by the self-organizing maps was shown. Mathematical model which may be to appraise successfulness of done work by time of reaction on light signal and speed treat information was built. This model may be used for the estimate of the psychophysiological condition in the process of activity.

Донец, мед. ун-т ім. М. Горького

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Краткое руководство по SNN, "Нейронные сети" STATISTICA, StatSoft. - Russia, 1998. - 355 с.
2. Лях Ю.Е. Оценка и прогнозирование психофизиологических состояний человека в процессе деятельности: Автореф. дис... д-ра биол. наук. - Донецк, 1996. - 59 с.
3. Применение математических методов в исследованиях по физиологии человека / Под ред. В.Н.Казакова. - Серия "Очерки биологической и медицинской информатики". - Донецк, Изд-во Донец. мед. ун-та им. М.Горького, 2000. - 84 с.
4. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. - СПб.: ООО "Речь", 2001. - 350с.
5. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Статистический анализ данных на компьютере / Под ред. В.Э.Фигурнова. - М.: ИНФРА, 1998. - 528 с.
6. Уманский В.Я., Лях Ю.Е., Роганов Л.М., Герасимовская И.Н. Технология экспресс-диагностики функционального состояния организма ребёнка при воздействии неблагоприятных факторов окружающей среды // Вест. гигиены и эпидемиологии. - 2000. - 4, №2. - С.282-285.
7. Уоссермен Ф., Нейрокомпьютерная техника. - М., 1992. - 124 с.
8. Черняк А.Н., Довгялло Е.Н., Выхованец Ю.Г., Миронова Г.И. Нейрокомпьютеринг психофизиологического состояния человека // Вест. гигиены и эпидемиологии. - 2001. - 5, №1. - С.41-43.
9. Черняк А.Н., Роганов Л.М., Борисенко Г.В. Нейрокомпьютеринг успешности выполнения деятельности человеком. Сучасні проблеми біофізики / Під ред. В.М.Казакова, М.Ф.Шуби. - Донецьк: Лебідь, 2001. - С. 133-154.
10. Akio Utsugi Hyperparameter Selection for Self-Organizing Maps // Neural Computation, 1996. - 9, N3. - P.623-635.
11. Akio Utsugi Topology Selection for Self-Organizing Maps // Network: Computation in Neural Systems, 1997. - 7, N 3. - P.727-740.

Матеріал надійшов до редакції 16.10.2001