

УДК 623.592: 331.44

**Ю.О. Гунченко**, канд. техн. наук, Одес. нац. політехн. ун-т,  
**С.В. Ленков**, д-р техн. наук, проф., Військ. ін-т Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка,  
**С.А. Шворов**, д-р техн. наук, ст. наук. співпр., Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України, м. Київ

## МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОГО ПОКАЗНИКА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ФАХІВЦІВ СПЕЦПІДРОЗДІЛІВ

*Ю.О. Гунченко, С.В. Ленков, С.А. Шворов.* **Методичні засади визначення узагальненого показника функціонального стану фахівців спецпідрозділів.** Обґрунтовано можливість застосування нечіткого гібридного класифікатора для визначення узагальненого показника функціонального стану фахівців спецпідрозділів. Запропоновано використовувати чотиришарову нейро-нечітку мережу для підвищення ефективності визначення відповідності функціонального стану фахівців спецпідрозділів заданим професійним вимогам.

*Ключові слова:* функціональний стан, фахівці спецпідрозділів, нейро-нечітка мережа, узагальнений показник.

*Ю.А. Гунченко, С.В. Ленков, С.А. Шворов.* **Методические основы определения обобщенного показателя функционального состояния специалистов спецподразделений.** Обоснована возможность применения нечеткого гибридного классификатора для определения обобщенного показателя функционального состояния специалистов спецподразделений. Предложено использовать четырехслойную нейро-нечеткую сеть для повышения эффективности определения соответствия функционального состояния специалистов спецподразделений заданным профессиональным требованиям.

*Ключевые слова:* функциональное состояние, специалисты спецподразделений, нейро-нечеткая сеть, обобщенный показатель.

*Yu.O. Gunchenko, S.V. Lenkov, S.A. Shvorov.* **Methodical basis for determining the generalized indicator of the functional state of specialists of the special forces units.** A possibility of a hybrid fuzzy classifier application to determine the generalized indicator of the functional state of specialists of the special forces units is grounded. It is proposed to use the four layer neuro-fuzzy network to increase the efficiency of determining the accordance of the functional state of specialists of professional special forces units with the specified professional requirements.

*Keywords:* functional state, special forces specialists, neuro-fuzzy net, generalized indicator.

В сучасних умовах, коли різко збільшились навантаження на психіку людини, та появи специфічних, екстремальних станів, вирішення проблеми оцінки функціональних станів (ФС) фахівців спецпідрозділів (ФСП) значно загострилося [1]. Саме тому завдання зв'язку ФС і ефективності виконання діяльності, визначення найбільш досконалих способів діагностики ФС, механізмів його регуляції, математичної обробки і об'єктивного аналізу отриманих результатів займають провідне місце в сучасних дослідженнях в галузях інженерної психології, ергономіки, психології праці, медицини і фізіології.

Оцінка функціональних станів у сучасній практиці стикається зі значними розбіжностями у формуванні і інтерпретації комплексу інформативних параметрів і способів їх обробки [2, 3]. Крім того, аналіз комплексу таких інформативних параметрів показує наявність великої кількості різнорідних значень, що вимірюються в порядковій шкалі, шкалах інтервалів, відношень і

абсолютній шкалі. Всі ці показники базуються на визначенні функціонального стану ФСП у будь-який проміжок часу за окремими параметрами або множиною параметрів. Однак, на практиці сукупне оцінювання цих показників стикається з суттєвими труднощами, головними з яких є відсутність єдиних поглядів в фізіології, медицині і психології на критеріальні показники, які б надали вичерпну характеристику ФС людини (зараз ФС людини описується більш ніж 300 параметрами). Переважна більшість існуючих методів обробки експериментально отриманої інформації не пристосована для врахування різноманітності (різношкальності) значень виміряних параметрів. При цьому спроби сформулювати інтегральний показник, що визначав би ФС, стосувались груп окремих показників (антропометричних, медичних тощо), не мали обґрунтованого підходу.

Метою статті є обґрунтування методу обробки багатовимірних даних окремих складових ФС фахівців підрозділів спеціального призначення із застосуванням нечіткого гібридного класифікатора, який дозволяє врахувати різноманітність інформативних параметрів і нечіткість їх інтерпретації при визначенні узагальненого показника функціонального стану ФСП.

Стан людини неможливо охарактеризувати як просту зміну в протіканні окремих функцій чи процесів. Це складна системна реакція індивіда. Під системою при цьому розуміють сукупність взаємодіючих між собою елементарних структур чи процесів, поєднаних в одне ціле розв'язанням спільного завдання, яке не може бути виконане жодним з її компонентів [4]. Рівень професійної діяльності і готовність до неї, або якість роботи ФСП, безпосередньо залежить від ФС людини і визначається сукупністю якісних показників, що характеризують різні його аспекти. Як правило, визначають три аспекти: психологічний, фізіологічний та соціологічний.

Психологічний аспект характеризується особливостями психічних форм сприйняття і відображення навколишнього середовища: уваги, емоцій, почуттів, пам'яті, мислення та ін.

Фізіологічний аспект найчастіше зводиться до вивчення властивостей центральної та периферійної нервових систем, а також загального фізіологічного стану.

Соціологічний аспект включає риси характеру, соціальну спрямованість, професійні здібності, життєвий досвід, загальний рівень культури і професійної підготовки. Особливе місце займають мотиви та інтереси особи.

При оцінюванні окремих або сукупних показників ФС необхідно враховувати, що:

— показники (результати вимірювань), навіть в межах однієї групи якостей, мають різнопродуриду природу і, крім того, часто мають взаємновпливаючий характер;

— неможливо повністю вивільнитися від суб'єктивізму в призначенні і оцінюванні показників якості;

— ФС людини є динамічним і залежить від зовнішніх чинників, більшість з яких важко піддається обліку і вимірюванню.

Серед фахівців різних профілів затвердився погляд, що для оцінки можливостей ФСП необхідно обов'язково враховувати його енергетичні характеристики. Це пов'язано з тим, що поперше: за характеристиками споживання (витрачання) енергії організмом можна робити висновки про його функціонування в певних умовах зовнішнього (робочого) середовища, вивести динаміку розвитку відхилення від професійних вимог; по-друге: з витрачанням енергії тісно пов'язані процеси адаптації, без яких неможливі всі види активності організму.

Таким чином, ФС людини змінюється з часом і не піддається описанню за допомогою набору фіксованих параметрів. Роздільна обробка виміряних показників ФС і критеріїв їх оцінювання не завжди дозволяє дати однозначну інтерпретацію змінам ФС, що спостерігаються [5]. Багаторівневість функціонального стану як системної реакції організму ФСП задає різні напрями його визначення.

Один з таких напрямків полягає у пошуку усталених конфігурацій фізіологічних відповідей для різних поведінкових ситуацій, що є базою для виділення інтегральних психофізіологічних показників для оцінки функціональних станів [6].

У психофізіології під інтегральними методами розуміють методи, що засновані на об'єднанні декількох методик визначення окремих показників або невеликої сукупності однорідних показників для виведення на їх основі умовної („штучної”) оцінки ФС людини.

Велика кількість чинників, від яких залежить функціональний стан, а також різноманітність функцій, в яких проявляється його специфічність, є основною складністю у розв'язанні завдань оцінки і прогнозування ФС. Розв'язати ці завдання можна лише шляхом використання інтегральних методів визначення ФС.

Проблеми невизначеності і багатофакторності виникають як в середині кожної складової ФС, так і при згортці сукупності оцінок в інтегральний (більш коректно — узагальнений) показник ФС ( $K_{\text{ФС}}$ ).

Так, наприклад, для характеристики ФС людини можна використати такі показники (в позначеннях, прийнятих в психофізіології [2...4]):

*фізіологічні показники*  $\bar{X}^{\Phi}$  :

- частота серцевих скорочень (ЧСС), од./хв;
- артеріальний тиск (АТ) (систолический СТ і діастолічний ДТ), мм.рт.ст.;
- латентний період простої сенсомоторної реакції (ЛПСР), мс;
- частота виникнення спонтанних шкірогальванічних рефлексів (ШГР), од./хв;

*психологічні показники*  $\bar{Y}^{\Pi}$  :

- функціональна рухливість нервових процесів (ФРНП), мс;
- мотивація діяльності (М), балів.

Організуючий вплив емоційної напруженості ( $S$ -напруженості) характеризується тим, що в умовах обмеженого часу фахівці працюють зосередженіше, точніше, й імовірність правильного і своєчасного виконання елементарних завдань підвищується. Функція напруженості  $h_{ij}$  являє собою відношення часу, необхідного на виконання алгоритму роботи ФСП, до фактично наявного в його розпорядженні часу [3]

$$h_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^I \bar{t}_i}{\sum_{i=1}^I \bar{t}_{ij}}, \quad (1)$$

де  $\bar{t}_i$  — середній час, необхідний ФСП для виконання  $i$ -го елементарного завдання,

$I$  — кількість елементарних завдань, що залишилися для виконання,

$\bar{t}_{ij}$  — час, що є в розпорядженні  $j$ -го ФСП для виконання невідпрацьованих елементарних завдань;

*енергетичні показники*  $\bar{Z}^E$  :

- максимальне споживання кисню (МСК), мл/(хв · кг).

З урахуванням вказаних показників ФСП складено блок-схему розрахунку  $K_{\text{ФС}}$  (рис. 1).

Через  $\bar{r}_{\text{ЧСС/АТ}}$  та  $\bar{r}_{\text{ФЛ}}$  враховуються експертні висновки щодо існування залежностей між окремими показниками однієї або кількох груп показників.

Для обчислення багатовимірних векторів широко використовуються ентропійний та інформаційно-рейтинговий методи, а також методи нейромережних моделей. На основі теорії нечітких множин Зате можна у випадку якісних (або лінгвістичних) вимірювань побудувати формальний апарат моделювання людських якостей і визначити способи розв'язання завдань, але практичне використання його ускладнено.

Для отримання інтегрального показника ФС сукупну обробку масиву різнорідних даних можна було б провести на основі багатовимірного шкалювання. Проте при цьому сильно “програє” психологічний аспект, тому що багатовимірне шкалювання не містить в собі специфіки обробки психологічних даних.

Для розв'язання завдання класифікації, тобто віднесення ФС ФСП, що характеризується набором показників, до одного з декількох станів, пропонується застосувати так званий нечіт-

кий гібридний класифікатор [6]. Такий класифікатор є системою, що об'єднує в структурному і функціональному відношеннях принципи нейронних мережних моделей і нечітку логіку обробки даних, відповідно.

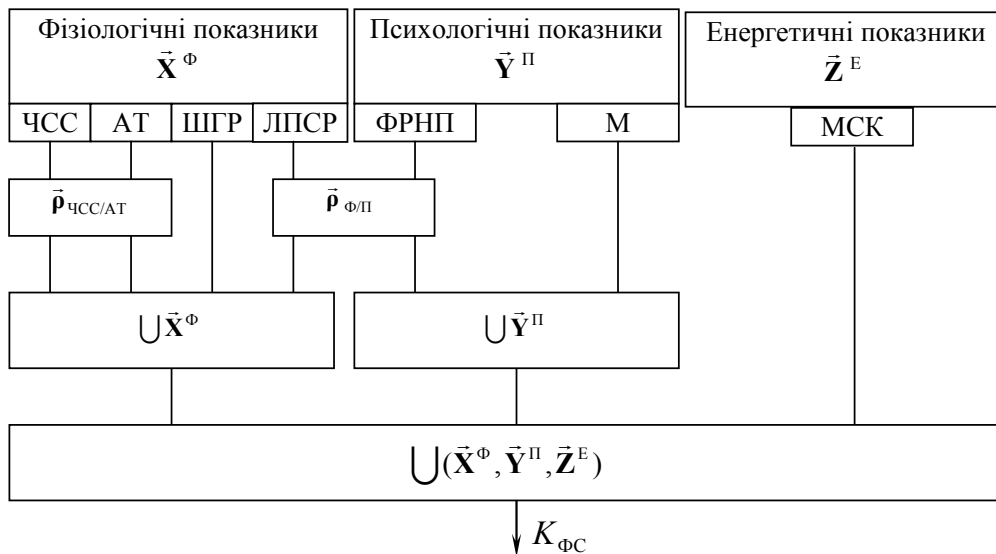


Рис. 1. Блок-схема розрахунку узагальненого показника  $\Phi_C$

Поставлене завдання розв'язується за допомогою чотиришарової нейро-нечіткої мережі (рис. 2).

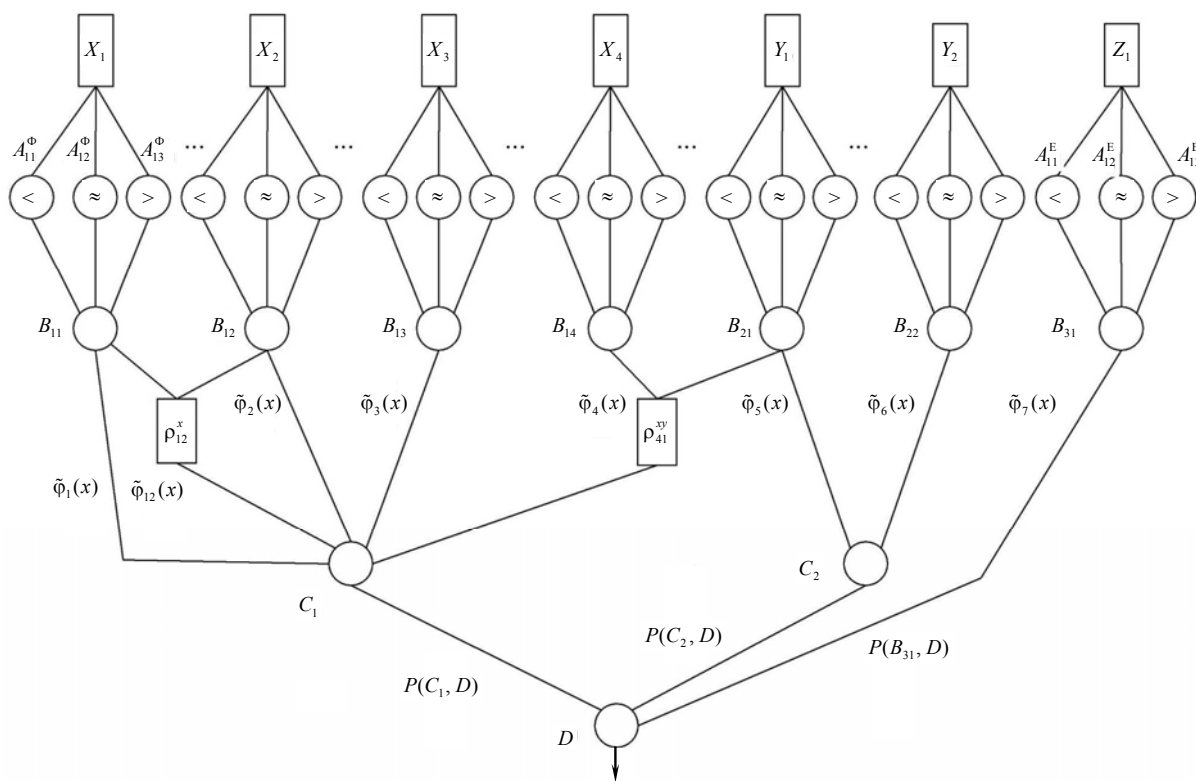


Рис. 2. Структурна схема прошаркової нейро-нечіткої мережі

Перший шар  $A$  мережі створює на виході ступінь належності як міру відповідності вимірних показників  $\Phi_C$  фахівця  $\{X, Y, Z\}$  заданим вимогам.

Запропонований варіант мережі розрахований на трирівневе нечітке оцінювання: “нижче норми” (нн або <), “норма” (н або ≈), “вище норми” (вн або >). Типовий приклад функцій розподілення для вказаних лінгвістичних оцінок приведено на рис. 3.

При необхідності роздільна здатність такого класифікатора може бути підвищена, що тягне за собою збільшення кількості нейронів в шарі  $A$ , але не впливає на інші шари мережі та алгоритм її функціонування.

Другий шар  $B$  є об'єднуючим по кожному конкретному показнику  $x_i (y_j; z_k)$  і потрібен для того, щоб врахувати можливість попадання  $i$ -го признаку одночасно в дві класифікаційні групи (як правило, з різним ступенем належності). Наприклад (див. рисунок 3),

$$B_{11} = \tilde{\phi}_1(x) = \{A_{11}^\Phi | \mu_{11}(x_1); A_{12}^\Phi | \mu_{12}(x_1)\},$$

де  $\mu_{11}$  — міра відповідності результату вимірювання ЧСС вимозі “нижче норми”;

$\mu_{12}$  — міра відповідності результату вимірювання ЧСС вимозі “норма”.

Третій шар  $C$  призначений для об'єднання нечітких оцінок всередині кожної групи показників: фізіологічної  $\vec{X}^\Phi$ , психологічної  $\vec{Y}^\Psi$  і енергетичної  $\vec{Z}^E$ . Особливістю зв'язків між третім і четвертим шарами є наявність всередині групових  $\rho_{ij}^x$  і міжгрупових  $\rho_{ij}^{xy}$  допоміжних функціональних елементів, що відображають факт функціональної залежності відповідних  $(i, j)$  показників. Введення допоміжних функціональних елементів дозволяє підвищити гнучкість і надійність роботи класифікатора в умовах можливої неповноти вимірювань з причини часових або технічних проблем у штатному режимі.

Так, наприклад, ЧСС і АТ зв'язані через коефіцієнт ефективності кровообігу емпіричним співвідношенням [6]

$$2600 = (AT_{\max} - AT_{\min}) \cdot ЧСС. \quad (2)$$

Тому при відсутності, наприклад, даних про АТ ( $x_2$ ) на вхід нейрона  $C_1$  подається оцінка АТ ( $\tilde{\phi}_{12}(x)$ )

$$\tilde{\phi}_{12}(x) = \rho_{12}^x[\tilde{\phi}_1(x)],$$

де  $\rho_{12}^x$  — оператор перетворення у відповідності з формулою (1).

Нейрони шару  $C$  — це стандартні нейрони, виходи яких формуються з використанням активаційних функцій сигмоїдального типу і трактуються як ступені належності (міри відповідності) фізіологічного (психологічного, енергетичного) стану ФСП заданим вимогам.

Четвертий шар  $D$  представлений єдиним нейроном, входами якого є зважені значення мір відповідності ФСП по кожній групі показників, а виходом — міра відповідності ФС фахівця в цілому заданим вимогам.

Ваги зв'язків  $P(C_i, D)$  між третім і четвертим шарами визначаються експертами заздалегідь в залежності від конкретного роду професійної діяльності і характеризують важливість тієї чи іншої групи показників для ефективного функціонування ФСП.

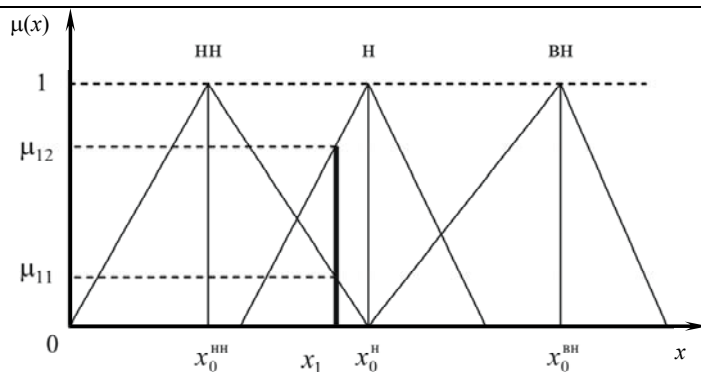


Рис. 3. Приклад функцій розподілення лінгвістичних оцінок

Запропонована нейро-нечітка мережа може бути класифікована як синхронна багатозарова гетерогенна мережа з локальними зв'язками, але без зворотних зв'язків. Останнє дозволяє зняти питання про динамічну рівноваженість нейромережі, що є важливою перевагою наведеної структури.

Таким чином, обґрунтовано спосіб обробки багатовимірних даних окремих складових ФС фахівців підрозділів спеціального призначення із застосуванням нечіткого гібридного класифікатора, який дозволяє врахувати різноманітність інформативних параметрів і нечіткість їх інтерпретації при визначенні узагальненого показника функціонального стану ФСП, що доцільно покласти в основу методики розрахунку узагальненого показника ФС фахівців підрозділів спеціального призначення.

## Література

1. Ленков, С.В. Аналіз існуючих показників ефективності тренажерних систем для фахівців підрозділів постійної готовності / С.В. Ленков, С.А. Шворов, Ю.О. Гунченко // Сучасні інформ. технології у сфері безпеки та оборони. — К., 2011. — № 1-2 (10-11). — С. 24 — 26.
2. Машбиц, Е.И. Психолого-педагогические проблемы компьютеризации обучения / Е.И. Машбиц. — М.: Педагогика, 1988. — 192 с.
3. Шибанов, Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек — техника / Г.П. Шибанов. — М.: Машиностроение, 1983. — 263 с.
4. Основы психофизиологии / Под ред. Ю.И. Александрова. — М.: ИНФРА, 1998. — 432 с.
5. Ленков, С.В. Обґрунтування системи показників ефективності тренажерних систем підготовки фахівців підрозділів спеціального призначення / С.В. Ленков, С.А. Шворов, Ю.О. Гунченко // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Військово-спеціальні науки. — К., 2012. — № 27. — С. 4 — 6.
6. Мельник, Ю.В. Застосування взаємодіючих нейромереж в задачах визначення готовності льотних екіпажів / Ю.В. Мельник, О.Ю. Чуніхін, С.А. Шворов // Зб. наук. пр. Військ. ін-ту Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. — 2007. — № 7. — С. 123 — 128.

## References

1. Lenkov, S.V. Analiz isnuyuchih pokaznikov effektivnosti trenagernyh sistem dlya fahivciv pidrozdiliv postiynoi gotovnosti [Analysis of the Existing Efficiency Indicators of the Training Systems for Specialists of the Units of Permanent Readiness] / S.V. Lenkov, S.A. Shvorov, Yu.O. Gunchenko // Modern information technologies in the field of security and defense. — Kyiv, 2011. — № 1-2 (10-11). — P. 24 — 26.
2. Mashbits, E.I. Psihologo-pedagogicheskie problemi komputerezacii obucheniya [Psycho-Pedagogical Problems of Computerized Learning] / E.I. Mashbits — M.: Education, 1988. — 192 p.
3. Shibanov, G.P. Kolichestvennaya otsenka deyatel'nosti cheloveka v sisteme chelovek — tehnika [Quantitative Assessment of Human Activities in the System Man — Machinery] / G.P. Shibanov — Moscow: Mashinostroenie, 1983. — 263 p.
4. Osnovy psihofiziologii [Fundamentals of Psychophysiology] / Ed. Yu.I. Alexandrov. — M.: INFRA, 1998. — 432 p.
5. Lenkov, S.V. Obgruntuvanya sistemi pokaznikov effektivnosti trenagnih system pidgotovki fahivtsiv pidrozdiliv spetsial'nogo pryznacheniya [Justification of the System of the Efficiency Indicators of the Training Systems for Specialists of the Special Forces Units] / S.V. Lenkov, S.A. Shvorov, Yu.O. Gunchenko // Herald of the Kyiv Nat. Taras Shevchenko Univ. [Military sci.]. — K., 2012. — № 27. — P. 4 — 6.
6. Melnik, Yu.V. Zastosuvanya vzaemodiuchih neyromerej v zadachah viznachenya gotovnosti lyotnih ekipajiv [Application of Interacting Neural Networks In Problems of Determining Readiness of Flight Crews] / Yu.V. Melnik, O.Yu. Chunihin, S.A. Shvorov // Coll. sci. papers of the Military Institute of Kyiv National Taras Shevchenko University. — 2007. — № 7. — P. 123 — 128.

Рецензент д-р фіз.-мат. наук, проф. Одес. нац. ун-ту ім. І.І. Мечникова Шевчук В.Г.

Надійшла до редакції 18 вересня 2012 р.