

УДК 336.144.31:351.951

Мельник Ю. В. Державний університет телекомунікацій, Київ

**МЕТОД ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТАНУ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА В ЕРГАТИЧНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

*В статті обґрунтовано необхідність розробки інтегрального показника функціонального стану людини-оператора і врахування його при дослідженні питань ефективності функціонування ергатичних систем. Показана можливість застосування нечіткого гібридного класифікатора для визначення узагальненого показника функціонального стану людини-оператора мобільних телекомунікаційних систем.*

**Ключові слова:** телекомунікаційна система, гетерогенна мережа, ергатична система, функціональний стан, людина-оператор, нейро-нечітка мережа.

Melnyk Yu. V. State University of Telecommunications, Kyiv

**METHOD OF TRANSFORMATION OF INFORMATIVE PARAMETERS OF THE HUMAN-OPERATOR STATUS IN THE HERGATIC TELECOMMUNICATION SYSTEMS**

*The article substantiates the necessity of developing an integral index of the functional state of the human operator and taking into account it in the study of the issues of the efficiency of the functioning of the ergatic systems. The possibility of using a fuzzy hybrid classifier for the definition of a generalized index of the functional state of a person-operator of mobile telecommunication systems is substantiated. Offered neuro-fuzzy network can be classified as a synchronous multi-layered heterogeneous network with local connections, but without feed-backs. The offered solution can be realized in neuro-fuzzy network, intended for the estimation of both the psychological and physiological state of man-operator and estimation of efficiency of application of technical complexes, taking into account a "human factor".*

**Keywords:** telecommunication system, heterogeneous network, ergatic system, functional state, human operator, neuro-fuzzy network, human factor.

Мельник Ю. В. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

**МЕТОД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА В ЭРГАТИЧЕСКИХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

*В статье обоснованно необходимость разработки интегрального показателя функционального состояния человека-оператора и учета его при исследовании вопросов эффективности функционирования эргатических систем. Показана возможность применения нечеткого гибридного классификатора для определения обобщенного показателя функционального состояния человека-оператора мобильных телекоммуникационных систем.*

**Ключевые слова:** телекоммуникационная система, гетерогенная сеть, эргатическая система, функциональное состояние, человек-оператор, нейро-нечеткая сеть.

**1. Вступ.** Проблема надійності управління складними технічними комплексами є дуже актуальною. Технічний аспект надійності таких комплексів, зокрема мобільних телекомунікаційних систем, вирішений достатньо повно: розроблено багато теоретичних методів аналізу надійності, вивчені фізичні процеси, що приводять до відмов різного роду апаратури, впроваджуються все більш досконалі експериментальні і експлуатаційні технічні рішення.

© Мельник Ю. В., 2017

Разом з тим кількість помилок людини при виконанні операторської роботи і їх ціна продовжують зростати. Це свідчить, що "людський фактор", як важлива складова ергатичної системи, належним чином не враховується.

## 2. Основна частина

Основними методами врахування "людського фактора" до цього часу є [1, 2]:

- а) моделювання дій людини-оператора як компонента ергатичної системи;
- б) дослідження функціонування ергатичної системи за допомогою послідовного моделювання процесів сприйняття і переробки інформації, управління та прийняття рішень;
- в) використання поточного прогнозуючого контролю за діяльністю людини-оператора.

Всі ці методи базуються на існуванні відмінностей функціонального стану (ФС) людини-оператора в будь-який проміжок часу, але методи врахування таких відмінностей зводяться до введення в розрахунки імовірнісних та рангових залежностей, як це робиться для неперервних технічних об'єктів [3].

*Метою статті* є створення методологічних передумов для розробки інтегрального показника ФС людини-оператора (ФСЛО) ергатичної системи.

Проблему надійності управління ергатичними системами пропонується вирішувати в єдності технічних аспектів функціонування телекомунікаційних систем і особливостей людської діяльності по керуванню і обслуговуванню. Рівень професійної діяльності і готовність до неї, або "якість" оператора, безпосередньо залежить від ФС людини і визначається сукупністю якісних показників, що характеризують різні його аспекти. Як правило, говорять про три аспекти: психологічний, фізіологічний та соціальний [4].

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

- а) показники (результати вимірювань), навіть в межах однієї групи якостей, мають різномірну природу і, крім того, часто мають взаємовпливаючий характер;
- б) неможливо повністю вивільнитися від суб'єктивізму в призначенні і оцінюванні показників якості;
- в) ФС людини є динамічним і залежить від зовнішніх факторів, більшість з яких важко піддається обліку і вимірюванню.

г) 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.

Отже, необхідно оцінювати ФСЛО у єдності його психологічних, фізіологічних і енергетичних характеристик. Таким чином, є сенс говорити про розробку інтегрального показника ФС людини.

Важливо, що інтегральний показник ФС людини при введенні його в будь-який комплексний показник якості, дає можливість врахування "людського фактору".

Особливо важливим є своєчасне виявлення тенденцій відхилення від професійних вимог функціональних можливостей людини-оператора. Саме через інтегральний показник ФС людини можна при відносному, в межах норми, коливанні окремих показників, виявити як ступінь відхилення цих окремих показників від норми, так і ступінь порушення їх взаємодії.

Досвід вивчення ФС людини показує, що характеристики якості мають як кількісну, так і якісну природу, при цьому вимірювання якості проводяться в номінальній шкалі і шкалі порядку, а кількісні вимірювання в шкалах порядку, відношень, інтервалів і абсолютній шкалі [5].

Разом з тим необхідно мати узагальнений результат вимірювань, якщо не за всіма показниками, то хоча б за групами показників. При цьому неминує виникає проблема об'єднання (згортки) різномірних показників (результатів вимірювань). Підходи до згортки результатів вимірювань, що прийняті при дослідженнях технічних систем, не можуть бути в повній мірі розповсюджені на людину. Крім того, необхідно враховувати, що окремі показники ФС можуть бути взаємопов'язані, тобто виявляти один на одного певний вплив.

Наприклад, можливість зорового сприйняття визначається чотирма групами характеристик сигналів [1]: енергетичними, просторовими, часовими та інформаційними. При цьому параметри групи першої та другої вимірюються в шкалах відношень і інтервалів; параметри третьої групи – в абсолютній і шкалі відношень; параметри четвертої групи – в шкалі інтервалів.

На значення показників всіх груп впливають ряд технічних, психологічних, соціологічних аспектів (умови виконання роботи, емоції, мислення, характер, професійна підготовка, тощо) та фактори впливу зовнішнього середовища, значна частина яких характеризується багатовимірними векторами з лінгвістичними (вербальними) координатами.

Таким чином, при визначенні узагальненого показника «якості» тільки зорового аналізатора очевидна складність згортки різнорідних показників.

Для обчислення багатовимірних векторів широко використовуються методи нейромережеских моделей [6]. На основі теорії нечітких множин Заде [7] можна у випадку якісних (або лінгвістичних) вимірювань побудувати формальний апарат моделювання людських якостей і визначити способи вирішення задач, але практичне використання його ускладнено.

ФС змінюється при виконанні різних видів діяльності і не може бути визначений кінцевою сукупністю деяких сталих показників [4]. Саме тому багато дослідників вважають, що ФС людини, особливо людини-оператора, повинен оцінюватися за інтегральними показниками [5-6].

Представляється можливим визначити інтегральний показник ФС людини в ергатичних системах на основі концепції м'яких вимірювань за алгоритмом представленим на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм визначення інтегрального показника ФС людини

Задачі блоків 1-4 вивчені досить добре і вирішуються стандартними методами з задовільним практичним результатом. Блоки 5-10 на даний час розроблені недостатньо.

Вирішення задач блоків 5-10, при визначенні функціонального стану людини-оператора, дозволить поєднати формалізм вимірювань з розумінням складності соціального об'єкту – людини, і забезпечить можливість інтерпретувати сукупність вихідних даних ФС людини в конкретних умовах професійної діяльності.

Пошук об'єктивних інтегральних показників проводився багатьма дослідниками, зокрема в [8, 9] на основі психофізіологічних показників функціонального стану різних органів та систем організму людини і антропометричних даних виводилися формули різних типів інтегральних показників. Загальним недоліком цих досліджень є те, що отримані методики не придатні для використання в реальному часі під час виконання робочої діяльності. Характерним для цих методик визначення інтегральних показників є також великий обсяг попередніх лабораторних статистичних досліджень, ігнорування можливості змін параметрів під впливом чинників зовнішнього середовища та неврахування розмірності інформативних параметрів. Оскільки професійні вимоги задаються, як правило, в лінгвістичній формі, а кількісні показники професіограм дуже часто мають інтервальний характер [10], представляється доцільним перекласти ці вимоги на мову теорії нечітких множин. В цьому випадку кожній професійній вимозі може бути зіставлена функція приналежності, яка характеризує міру відповідності значення показника вказаній вимозі.

Велика кількість факторів, від котрих залежить функціональний стан, а також різноманітність функцій, в яких проявляється його специфічність, є основною складністю у вирішенні задач оцінки і прогнозування 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 ( $K_{\phi c}$ ).

В загальному випадку, для характеристики ФС людини-оператора (ФСЛО) можна використати деяку сукупність показників: фізіологічних  $\vec{X}^{\phi}$ , психологічних  $\vec{Y}^{\pi}$ , енергетичних  $\vec{Z}^E$ .

Тоді блок-схему визначення  $K_{\phi c}$  людини-оператора можна представити у вигляді, зображеному на рис. 2.

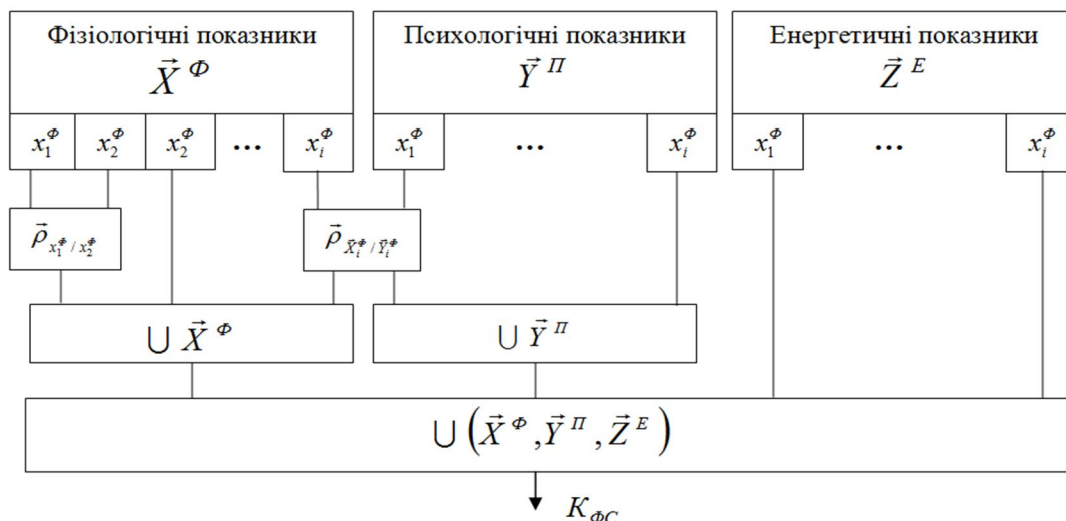


Рис. 2. Блок-схема визначення узагальненого показника ФС людини-оператора

На Рис. 2 через  $\bar{\rho}_{x_1^{\phi}/x_2^{\phi}}$  та  $\bar{\rho}_{x_i^{\phi}/y_i^{\pi}}$  враховуються експертні висновки про існування залежностей між окремими показниками однієї або кількох груп показників.

Для вирішення задачі класифікації, тобто віднесення ФС, що характеризується набором показників, до одного з декількох станів, будемо застосувати так званий нечіткий гібридний класифікатор [11]. Такий класифікатор є системою, що об'єднує в структурному і функціональному відношеннях принципи нейронних мережних моделей і нечітку логіку обробки даних відповідно.

Поставлену задачу будемо вирішувати за допомогою 4-шарової нейро-нечіткої мережі, структурна схема якої приведена на рис. 3.

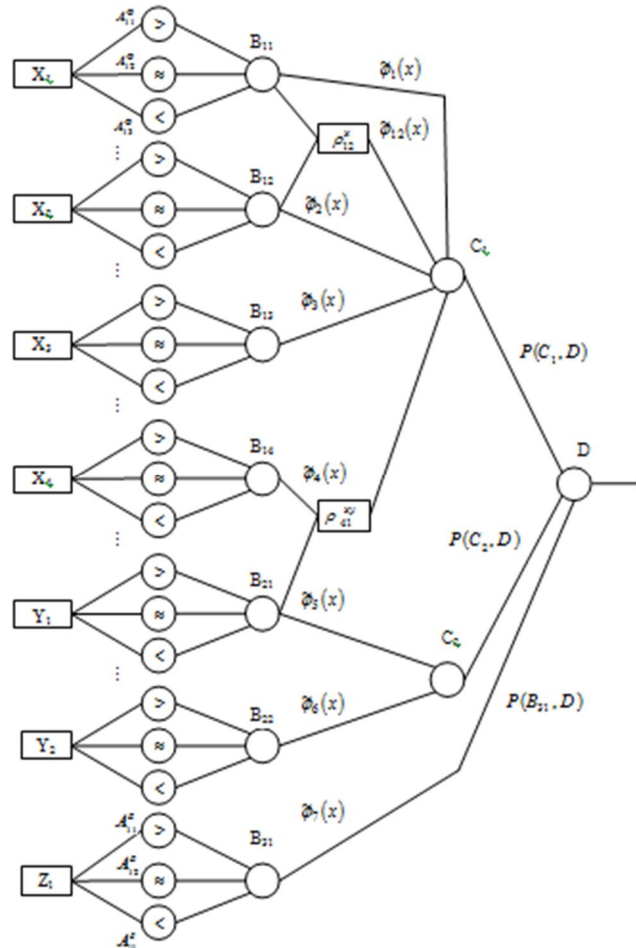


Рис. 3. Нечіткий гібридний класифікатор визначення ФСЛО.

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

Запропонований варіант мережі розрахований на 3-рівневе нечітке оцінювання: «нижче норми» (нн або  $<$ ), «норма» (н або  $\approx$ ), «вище норми» (вн або  $>$ ). Типовий приклад функцій розподілення для вказаних лінгвістичних оцінок приведений на рис. 4.

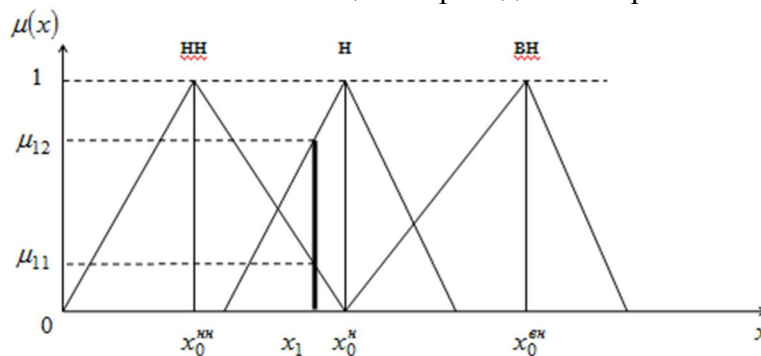


Рис. 4. Нечітка лінгвістична оцінка ФСЛО.

При необхідності роздільна здатність такого класифікатора може бути підвищена, що тягне за собою збільшення числа нейронів в прошарку  $A$ , але не вплине на інші прошарки 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 приналежності).

Третій шар  $C$  призначений для об'єднання нечітких оцінок всередині кожної групи показників: фізіологічної  $\vec{X}^{\Phi}$ , психологічної  $\vec{Y}^{\Pi}$  і енергетичної  $\vec{Z}^E$ . Особливістю зв'язків між 3 і 4-м прошарками є наявність всерединігрупових  $\rho_{ij}^x$  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 в штатному режимі функціонування ергатичної системи.

Нейрони шару  $C$  – це стандартні нейрони, виходи яких формуються з використанням активаційних функцій сигмоїдного типу і трактуються як ступені приналежності (міри відповідності) фізіологічного (психологічного, енергетичного) стану людини-оператора заданим вимогам.

Четвертий шар  $D$  представлений єдиним нейроном, входами якого є зважені значення мір відповідності ФСЛЮ по кожній групі показників, а виходом – міра відповідності ФСЛЮ 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 оператора в складі ергатичної системи.

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

**3. Висновок.** Обґрунтовано та запропоновано загальний алгоритм визначення інтегрального показника функціонального стану людини-оператора при дослідженні питань ефективності функціонування ергатичних систем.

Обґрунтовано можливість застосування нечіткого гібридного класифікатора для визначення узагальненого показника функціонального стану людини-оператора мобільних телекомунікаційних систем.

Запропоноване рішення може бути реалізоване в нейро-нечітких мережах, призначених для оцінки як психофізіологічного стану людини-оператора, так і оцінки ефективності застосування технічних комплексів з урахуванням "людського фактору".

### Список використаної літератури

1. Основы инженерной психологии / Под ред. Б.Ф. Ломова. – Москва : Высшая школа, 1977. – 335 с.
2. Шеридан Т. Б. Системы человек-машина / Т. Б. Шеридан, У. Р. Феррел. – Москва: Машиностроение, 1980. – 400 с.
3. Мозгалецкий А. В. Техническая диагностика непрерывных объектов / А. В. Мозгалецкий // Автоматика и телемеханика. – 1978. – №1. – С. 48-51.
4. Горго Ю. П. Психофізіологія (прикладні аспекти) / Ю.П. Горго. – Київ : МАУП, 1999. – 128 с.

5. Осипов В. П. Методика статистической обработки медицинской информации в научных исследованиях / В. П. Осипов, Е. М. Лукьянова, Ю. Г. Антипкин, Е. М. Бруслова, Р. В. Марушко. – Київ : Планета людей, 2002. – 200 с.
6. Лях Ю. Е. Нейронные сети в диагностике психофизиологических состояний человека / Ю.Е. Лях, А. Г. Черняк, В. Г. Гурьянов, Ю. Г. Выхованец // Материалы VII Международной конференции по квантовой медицине. – Мариуполь, 2002. – С. 18.
7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – Москва : Мир, 1976. – 165 с.
8. Леонова А. Б. Психодиагностика функциональных состояний человека / А. Б. Леонова. – Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 200 с.
9. Комплексна методика визначення психофізіологічного стану військовослужбовців на етапі професійного відбору для участі у міжнародних миротворчих операціях: Метод. рек. – Київ : ННДЦ ОТ і ВБ України, 2005. – 123 с.
10. Варус В. І. Методичні проблеми відбору та способи їх розв'язання / В. І. Варус, О. Ю. Буров // Наука і оборона. – 2004. – №2. – С. 47-50.
11. Круглов В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – Москва : Физмат, 2001. – 225 с.

#### References

1. Lomov B.F., ed. "Fundamentals of engineering psychology." *Moskwa: Vysshaya shkola* (1977): 335.
2. Sheridan T. B., Ferrell U. R. "Human machine systems." *Moskva: Mashinostroenie* (1980): 400.
3. Mozgalevsky A.V. "Technical diagnostics of continuous objects." *Avtomatika and telemehanika* 1 (1978): 48-51.
4. Gorgo Yu. P. "Psychophysiology (Applied aspects)." *Kyiv, MAUP* (1999): 128.
5. Osipov V. P., Lukyanova E. M., Antipkin Yu. G., Bruslova E. M., Marushko R.V. "Method of statistical processing of medical information in scientific research." *Kyiv: Planeta liudei* (2002): 200.
6. Lyakh Yu. E., Chernyak A. G., Guryanov V. G., Vykhovanets Y.G. "Neural networks in the diagnosis of psychophysiological conditions of a person." *Materials of the VII international conference on quantum medicine. Mariupol, Ukraine* (2002): 18.
7. Zade L. "The notion of a linguistic variable and its application to the adoption of approximate solutions" *Moskva: Mir* (1976): 165.
8. Leonova A. B. "Psychodiagnostics of human functional states." *Moscow: Izvestiya Moskovskoho. universiteta* (1984): 200.
9. "An integrated method for determining the psychophysiological state of military personnel at the stage of professional selection for participation in international peacekeeping operations" *Kyiv: NNDC OT and WB of Ukraine* (2005): 123
10. Varus V.I., Burov O.Yu. "Methodological problems of selection and ways of their solution." *Nauka i oborona* 2 (2002): 47-50.
11. Kruglov V.V., Dli M.I., Golunov R. Yu. "Fuzzy logic and artificial neural networks." *Moscow: Fizmat* (2001): 225.

#### Автор статті

**Мельник Юрій Віталійович** – кандидат технічних наук, старший дослідник, завідувач кафедри телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел +380 (99) 376 46 94. E-mail: melnik\_yur@ukr.net.

#### Author of the article

**Melnyk Yurii Vitaliiiovych** – candidate of sciences (technical), senior researcher, head of the telecommunication technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel +380 (99) 376 46 94. E-mail: melnik\_yur@ukr.net.

Дата надходження  
в редакцію: 1.08.2017 р.

Рецензент:  
доктор технічних наук, професор В. Ф. Заїка  
Державний університет телекомунікацій, Київ