

Ю.В. Мельник, С.В. Козелков

Державний університет телекомунікацій, Київ

ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ ЕРГАТИЧНОЮ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Обґрунтовано доцільність застосування методу перетворення інформативних психофізіологічних параметрів людини і алгоритму визначення узагальненого показника функціонального стану людини-оператора для досліджень ергатичних систем загального і спеціального призначення у порівнянні з традиційними статистичними методами.

Ключові слова: людина-оператор, функціональний стан, узагальнений показник, ергатична система.

Вступ

Надійне функціонування складних технічних систем залежить від функціонального стану людини, яка так чи інакше здійснює на них свій вплив. Якщо технічна складова надійності людина-машинних систем на даний час розроблена достатньо добре, то стан вивчення «людського фактору» все ще не задовольняє сучасним вимогам розвитку ергатичних систем (ЕрС). Дослідження людини, особливо людини-оператора (ЛО) в області інженерної психології, ергономіки, психології праці, медицини і фізіології виявили велику кількість об'єктивних і суб'єктивних різномірних показників діяльності і функціонального стану (ФС) людини. Для інженерної практики важливим є розуміння інтегрального характеру змін функціонального стану, а також безпосередній його зв'язок з динамікою ефективності робочої діяльності [1, 2].

Дослідження ФС людини-оператора (ФСЛО) стикаються зі значною різницею у формуванні та інтерпретації комплексу інформативних параметрів і методів дослідження [1, 3].

Основна частина

В загальному випадку структуру управління в ергатичній системі можна представити у вигляді, зображеному на рис. 1. Людина-оператор (ЛО) на підставі інформації про помилку $\bar{e}(t)$ між потрібним параметром задачі $\bar{r}(t)$ і її фактичним (поточним) значенням $\bar{y}(t)$ здійснює управляючий вплив $\bar{u}(t)$ на технічну систему (ТС) в умовах впливу оточуючого середовища як на ЛО $\bar{S}_L(t)$, так і на ТС $\bar{N}_T(t)$.

В залежності від виду системи управління можуть змінюватись умови формування і значення параметрів $\bar{r}(t)$, $\bar{y}(t)$, $\bar{e}(t)$, але в будь-якому випадку людина в ергатичній системі управління здійснює деякі керуючі впливи $\bar{u}(t)$ на підставі інформації про якість виконання задачі ТС $\bar{e}(t)$ в умовах впливу оточуючого середовища на ЛО

$\bar{S}_L(t)$ (на рис. 1 виділено пунктиром). Узагальнену модель управління ТКМ, у відповідності з ідеологією ТМН, можна представити у вигляді зображеному на рис. 2.

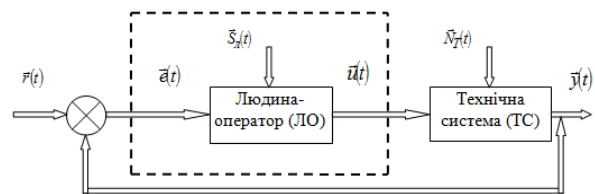


Рис. 1. Структура управління в ергатичній системі

Математична модель управління представляється в вигляді такої впорядкованої множини:

$$M_{УП} = \langle T, X, Y, U, Q, Z, L, F, \phi, P, C, A, B \rangle$$

де $T = \{t\}$ - множина моментів управління (керування), $X = \{x\}$ - множина вхідних впливів на КТС; $Y = \{y\}$ - множина вихідних відгуків КТС; $U = \{u\}$ - множина керуючих впливів на КТС; $Q = \{q\}$ - множина внутрішніх станів; $Z = \{z\}$ - множина цілей; L, F - оператори переходу станів і виходів відповідно $L: T \times X \times Q \rightarrow Q$, $F: T \times X \times Q \rightarrow Y$; ϕ - оператор алгоритму керування; $P = \{p(q)\}$ - множина ймовірнісних мір; $C = \{c(u)\}$ - множина вартості управління; $A = \{a(u)\}$, $B = \{\beta(u)\}$ - множина помилок управління першого і другого роду відповідно.

В основі будь-якого управління лежить інформація, яка може бути представлена впорядкованою парою множин $In = \langle X_K, Y_K \rangle$, тоді само управління має залежність через алгоритм $U = \phi(In, Z)$, де Z це підмножина вибраних цілей управління, а ϕ це оператор який формує керування U , $\phi: In \times Z \rightarrow U$.



Рис. 2. Узагальнена модель управління телекомунікаційною мережею

Багатьма дослідниками відмічається необхідність використання нових математичних методів в процесі прийняття рішень і діагностиці процесів управління в умовах неповної, нечіткої або неточної інформації, яка може бути оцінена вербально, але не піддається точному кількісному вимірюванню.

За цих обставин отримання зручного інструментального засобу визначення узагальненої кількісної оцінки ФСЛО, для використання в експертних системах прийняття рішення по надійності і ефективності роботи людини в ЕрС, є актуальною задачею наукового дослідження. Метою даної статті є запропонування методу перетворення інформативних психофізіологічних параметрів людини і алгоритму визначення узагальненого показника ФСЛО для досліджень ергатичних систем спеціального призначення.

Не викликає сумніву, що таке складне поняття, як функціональний стан, повинно розглядатись з точки зору системного підходу. Використовуючи категорію «система» і пов'язані з нею поняття, можна застосовувати ті підходи і результати, зокрема математичні, які довели свою ефективність при вивченні об'єктів і процесів різної природи.

Шляхи реалізації системного підходу до оцінки ФС відкривають статистичний і кібернетичний підходи, які широко використовуються при вивченні великих систем. Статистичний і кібернетичний підходи, дозволяючи досліджувати ФС з різних, незалежних один від одного позицій, разом дають можливість реалізувати так званий критерій наукової реальності Максвелла, який стверджує, що гіпотеза відбиває реальність, якщо вона підтверджується при використанні двох незалежних підходів, які приводять до одного і того ж результату [4].

Основними методами досліджень ФСЛО є статистичні методи [5-8]. В [9,10] запропонований кібернетичний підхід до визначення узагальненого показника ФСЛО ергатичних систем, центральним елементом якого є метод перетворення інформативних параметрів різного походження на основі нейро-нечіткої мережі (ННМ) при використанні в експертних системах прийняття рішення про ФСЛО.

Цей метод покладено в основу алгоритму визначення узагальненого показника ФСЛО ергатичної системи (рис. 3). Розроблений метод розрахований для застосування як в реальному часі (тобто під час виконання робочої діяльності), так і при лабораторних дослідженнях.

На даний час є багато напрацьованих і апробованих психофізіологічних методик для лабораторних досліджень, зокрема таких, що «імітують» робоче навантаження, але методик досліджень під час робочої діяльності ЛО практично немає. В даній ситуації способом підтвердження адекватності розробленого методу є його адаптація під конкретну апробовану методіку. Адаптована ННМ розробленого методу, в разі доведення її ефективності, може слугувати додатковим доказом застосовності для аналізу ергатичних систем різного призначення.

В якості апробованої «тестової» методики обрана «Методика визначення узагальненого показника рівня функціонального стану людини (ПРФС)» [6]. Прототипом тестової методики є патент на корисну модель «Спосіб оцінки рівня функціонального стану організму людини» [8].

Розрахунок ПРФС здійснюється шляхом співвідношення отриманих даних ФС досліджуваного з табличними показниками вікових норм параметрів за формулою [6, 8].



Рис. 3. Алгоритм визначення узагальненого показника ФСЛО ергатичної системи

$$\begin{aligned}
 \text{ПРФС} = & \left(\frac{\text{АТС}_\phi}{\text{АТС}_\tau} + \frac{\text{АТД}_\phi}{\text{АТД}_\tau} + \frac{\text{ЧСС}_{\text{сп}\phi}}{\text{ЧСС}_{\text{сп}\tau}} + \right. \\
 & \left. + \frac{\text{ЧСС}_{\text{нав}\phi}}{\text{ЧСС}_{\text{нав}\tau}} + \frac{\text{ЖЄЛ}_\tau}{\text{ЖЄЛ}_\phi} + \frac{\text{СБ}_\tau}{\text{СБ}_\phi} + \frac{\text{М} / \text{ЗР}_\phi}{\text{М} / \text{ЗР}_\tau} \right) / N, \quad (1)
 \end{aligned}$$

де АТС, АТД - артеріальний тиск систолічний та діастолічний відповідно (мм. рт. ст.); ЧСС_{сп}, ЧСС_{нав} - частота серцевих скорочень у стані спокою і після навантаження відповідно (уд. хв.); ЖЄЛ - життєва ємність легенів (л); СБ - статичне балансування (с); М - маса тіла (г); ЗР - зріст (см); N - кількість показників, використаних у формулі, індекси φ і τ - фактичне і табличне значення показника. В залежності від ПРФС, особи, що досліджуються належать до різних груп. На основі проведених психофізіологічних досліджень встановлено, що середньостатистична норма ПРФС відповідає 0,97±0,02.

Згідно з алгоритмом (рис. 3), на підставі розробленої в [10] ННМ, адаптована нейро-нечітка мере-

жа розрахунку узагальненого показника ФСЛО K_{фс} має вигляд, зображений на рис. 4.

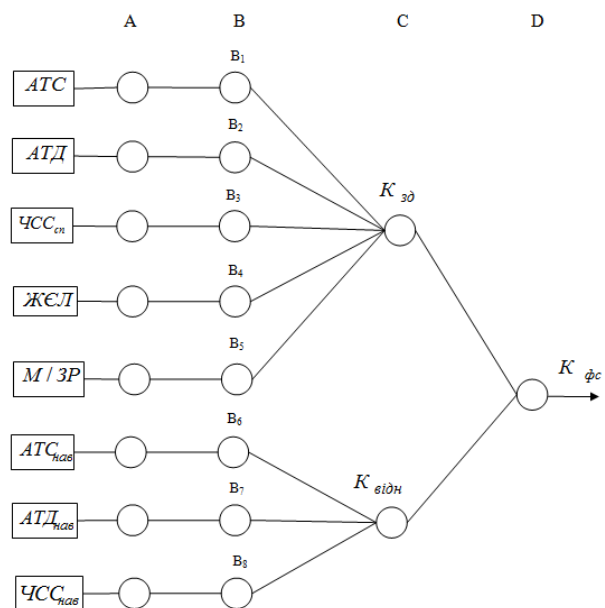


Рис. 4. Нейро-нечітка мережа розрахунку узагальненого показника ФСЛО

В даній ННМ $K_{зд}$ має сенс узагальненого показника здоров'я, $K_{відн}$ - узагальненого показника відновлювальних можливостей організму.

Для перевірки функціонування адаптованої ННМ згідно з методами нечіткого оцінювання, визначені вимоги до оцінок параметрів і вигляду кінцевого результату функціонування ННМ на основі узагальнюючої шкали бажаності Харінгтона [11, 12].

Стандартні відмітки на шкалі бажаності представлені в табл. 1.

Таблиця 1
Стандартні відмітки шкали бажаності

Бажаність	Відмітка на шкалі бажаності
Дуже добре	1,00 - 0,80
Добре	0,80 - 0,63
Задовільно	0,63 - 0,37
Погано	0,37 - 0,20
Дуже погано	0,20 - 0,00

Значення шкали бажаності добре збігаються з психофізіологічними уявленнями про процеси підтримання нормального стану функціонування живого організму. Під нормою розуміється інтервал, в межах якого кількісні коливання психофізіологічних процесів здатні утримувати живу систему на рівні

функціонального оптимуму [13].

На підставі даних [13, 16] інтервали норм для складових, які входять до формули (1), наведені в табл. 2. Для табл. 2 розрахункове значення АТС обчислюється за формулою $АТС_p = 109 + 0,4В$, де В - вік обстежуваного в роках [16]. Значення $ЧСС_{нав}$, $АТС_{нав}$, $АТД_{нав}$ обчислюються відносно поточного, в стані спокою, вимірюваного значення відповідного параметру $\pm 20\%$ на кожний діапазон шкали бажаності.

Моделювання функціонування адаптованої ННМ виконувалося за допомогою програмного пакету Neuro Office. Швидкість розрахунку вхідних показників по 192 обстежуваним склала 0,043 мс на комп'ютері з застарілим процесором Celeron 1700 МГц. Дана обставина є перевагою методу у сенсі невибагливості до обчислювальних ресурсів.

Фрагмент результатів моделювання представлений в табл. 3. В цій же таблиці представлені оцінки стану обстежуваних по шкалі бажаності (прийняті позначення: ДДОБ – дуже добре, ДОБ – добре, З – задовільно, П – погано, ДП – дуже погано) та значення і оцінки ПРФС (для наочності виділені курсивом) згідно з [6] (ВС – вище середнього, С – середній рівень, НС – нижче середнього, Н – низький рівень).

Таблиця 2

Інтервали норм

Показники	Табличний норматив	Інтервали норм на шкалі бажаності			
		1 - 0,8	0,8 - 0,63	0,63 - 0,37	0,37 - 0,2
АТС	120	АТС _p - 105	105 - 100	100 - 90	90 - 75
		АТС _p - 130	130 - 135	135 - 150	150 - 220
АТД	70	71 - 62	62 - 55	55 - 45	45 - 20
		71 - 80	80 - 90	90 - 95	95 -
ЧСС _{сп}	65	72 - 64	64 - 60	60 - 49	49 - 32
		72 - 80	80 - 84	84 - 95	95 - 170
ЖЄЛ	4,0	5,248 - 5,1	5,1 - 4,72	4,72 - 4,46	4,46 - 2,3
		5,248 - 5,39	5,39 - 5,77	5,77 - 6,04	-
М/ЗР	400	397 - 380	380 - 350	350 - 340	340 - 320
		398 - 415	415 - 430	430 - 450	450 - 521
ЧСС _{нав}	120	-	-	$\pm 20\%$ ЧСС _{сп}	$\pm 20\%$ ЧСС _{сп}

Таблиця 3

Результати моделювання ННМ

ППП	$K_{зд}$	$K_{відн}$	$K_{фс}$	Оцінка $K_{зд}$	Оцінка $K_{фс}$	ПРФС	Оцінка рівня ФС
М. А.В.	0,79	0,54	0,43	ДОБ	3	1,19	НС
М. О.В.	0,55	0,44	0,42	3	3	0,9	ВС
М. А.В.	0,62	0,56	0,35	3	П	1,5	?
С. К.Р.	0,66	0,48	0,32	ДОБ	П	1,27	Н
Ч. А.В.	0,73	0,67	0,49	ДОБ	3	1,03	С
Я. А.А.	0,44	0,56	0,25	3	П	1,98	?

На підставі порівняння даних, отриманих при моделюванні і розрахунку ПРФС за методикою [6], можна зробити наступні висновки:

1. По значенню ПРФС, розрахованому по методиці [6], на відміну від запропонованого $K_{\text{фс}}$, не завжди можна дати оцінку стану людини, що досліджується.

2. Розрахунок $K_{\text{фс}}$ здійснюється на підставі інтервалів норм вимірювання інформативних показників, а ПРФС - на підставі спеціально розрахованих табличних значень, що робить інтерпретацію таких значень суб'єктивними.

3. Запропонований метод дозволив розраховувати, як окрему характеристику, значення узагальненої оцінки відновлювальних можливостей обстежуваного $K_{\text{відн}}$. Ця характеристика дає представлення про рівень адаптаційних можливостей організму до навантаження і може бути використана як показник натренованості обстежуваного до виконання функціональних задач.

4. Запропонований метод дозволив автоматично врахувати значення $АТС_{\text{нав}}$ і $АТД_{\text{нав}}$, які за методикою [6] аналізувалися окремо.

Перевірка адекватності прогнозування ФС людини проводилася на основі даних обстежень, що були отримані після тривалих робочих навантажень. Фрагмент даних співставлення прогнозованих оцінок і отриманих при вимірюваннях після робочих

навантажень в табл. 4. З причини різного підходу до визначення кількісних показників безпосереднє їх порівняння неможливе. Тому в таблиці 4 подані лише кінцеві оцінки, за якими таке порівняння можна зробити.

При порівнянні повних даних табл. 3 і 4 можна зробити такі висновки:

1. У 65 % випадків прогноз оцінки рівня ФС обстежуваних збігся з оцінкою $K_{\text{фс}}$ після навантажень. Але прогноз для статистичних методів, яким є розрахований ПРФС, не може вважатись достовірним з причини однократності вимірювань, на відміну від прогнозу $K_{\text{фс}}$ і $K_{\text{зд}}$, який здійснюється на підставі інтервалів норм вимірюваних показників і не залежить від кількості вимірювань.

2. У 65 % випадків значення рівня здоров'я $K_{\text{зд}}$ збіглося з фактичними даними.

3. Розрахунок $K_{\text{фс}}$ на основі кібернетичного підходу до оцінки ФС показав результативність на рівні проведених статистичних досліджень, чим підтверджується його адекватність [4].

При відсутності надійних експертних висновків щодо інформативних параметрів, запропонований алгоритм дозволяє використовувати грубу, приблизну і недостовірну інформацію, з подальшим її уточненням по мірі накопичення фактичних даних. З цих позицій розроблений алгоритм є адаптивним і може застосовуватись як самостійний спосіб досліджень.

Таблиця 4

Співставлення прогнозованих і отриманих при вимірюваннях оцінок

Код досліджу	Оцінка (прогноз) $K_{\text{зд}}$	Оцінка $K_{\text{зд}}$	Оцінка (прогноз) $K_{\text{фс}}$	Оцінка $K_{\text{фс}}$	Оцінка рівня ФС (прогноз)	Оцінка рівня ФС
А1	ДОБ	З	З	П	С	С
Б1	ДОБ	ДОБ	З	З	С	С
Г1	З	ДОБ	П	З	С	С
К1	ДДОБ	ДДОБ	З	З	ВС	С
К2	ДОБ	ДОБ	П	П	В	С
М1	ДОБ	ДОБ	З	З	С	С
П1	ДОБ	ДОБ	З	П	С	С
Р1	ДОБ	ДОБ	П	З	С	С
С1	З	З	П	П	ВС	С

Адаптивність алгоритму знижує вимоги щодо кількості та репрезентативності вимірювань і переводить отримання узагальненого показника ФСЛО на суто кібернетичні позиції. Це положення дозволяє не фіксувати наявності або відсутності змін у порівнянні із задалегідь вибраним еталоном, що характерно при статистичних вимірюваннях, а визначати і прогнозувати оптимум взаємозалежності між функціональними системами організму людини.

При послідовному зменшенні числа параметрів, що аналізуються, розроблений метод зберігає працездатність на рівні не менше ніж 50 % при зме-

ншенні кількості показників до двох, тоді як статистичний метод вже непрацездатний. Запропонований метод враховує можливість модифікації, пов'язаної з додаванням або вилученням інформативних параметрів, без зміни вихідної моделі і логіки функціонування ННМ (зміняться тільки кількість нейронів і внутрішніх зв'язків мережі, об'єм навчальної вибірки). Цей факт дає змогу дослідникам не повторювати зазвичай оригінальні методики досліджень, а експериментувати з різним набором вхідних даних для отримання прийнятного результату в залежності від кінцевої мети.

Різний розподіл вхідних параметрів за шкалами вимірювання, при застосуванні методів багатовимірного статистичного аналізу для визначення ФСЛО, вимагає перегляду кожний раз їх статистичних характеристик і встановлення, по суті, нових залежностей при формуванні кінцевого результату. Крім того, для збереження фізичного сенсу вимірних параметрів і їх розмірності при сумісній обробці необхідне зведення до єдиної безрозмірної однотипної шкали, що не є простою задачею [14, 15].

ВИСНОВОК

В розробленому методі перетворення інформативних параметрів застосовано спосіб отримання нечітких мір відповідності вимірних значень заданим вимогам без попереднього зведення шкал до однієї з вибраних. Це дозволяє оперувати з прийнятими рішеннями по кожному окремому показнику без узгодження його з іншими. Таким чином, запропонований алгоритм визначення ФСЛО нечутливий до розподілу за шкалами вимірювання вхідних параметрів і вільний від необхідності врахування їх статистичних характеристик.

Розроблений на основі методу перетворення інформативних параметрів різного походження алгоритм визначення узагальненого показника ФСЛО ергатичної системи має ряд переваг над традиційними математичними методами. Це дозволяє говорити про удосконалення методів математичної обробки інформації про ФС людини.

Список літератури

1. Леонова А.Б. Психодиагностика функциональных состояний человека. – М.: МГУ, 1984. – 200 с.
2. Медведев В.И. Проблемы общей теории трудовой деятельности // Физиология человека. – Т. 25, №3. – С. 5-7.
3. Сравнительная информативность показателей функционального состояния организма спортсменов / А.В. Муравьев, Л.Г. Зайцев, М.И. Симаков, Е.П. Сулов // Теория и практика физ. культуры. – 1996. - № 9. – С. 25-29.
4. Коган А.Б., Владимирский Б.М. Функциональное состояние человека-оператора: Оценка и прогноз. – Л.: Наука, 1988. – 212 с.

5. Интегральная оценка работоспособности при умственном и физическом труде. Методические рекомендации. – М.: Экономика, 1990. – 109 с.

6. Комплексна методика визначення психофізіологічного стану військовослужбовців на етапі професійного відбору для участі у міжнародних миротворчих операціях: Методичні рекомендації. / Під ред. М.Г. Маслової. – К.: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2005. – 123 с.

7. Макаренко Н.В. Психофизиологические функции человека и операторский труд. – К.: Наук. думка, 1991. – 216 с.

8. Маслова М.Г., Поляков О.А., Мельник Ю.В. Декларационный патент на корисну модель „Спосіб оцінки рівня функціонального стану організму людини” Опубл. 15.03.2005. Бюл. № 3.

9. Мельник Ю.В. Людина-оператор в структурі управління ТМН мережі / Мельник Ю.В., Гаврилко Є.В. // Зв'язок. – 2017. – № 6(130). – с. 36-42.

10. Мельник Ю.В. Метод перетворення інформативних параметрів стану людини-оператора в ергатичних телекомунікаційних системах. Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2017. – № 3(56). – с. 104-110.

11. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грабовский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

12. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. – Тюмень.: Изд-во ТГУ, 2000. – 352 с.

13. Основные показатели физиологической нормы у человека. / Под ред. И.М. Трахтенберга. – К.: Авиценна, 2001. – 372 с.

14. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава. ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.

15. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава. ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.

14. Войнов В.Б., Воронов Н.В., Золотухи В.В. Методы оценки состояния систем кислородобеспечения организма человека. Учебно-методическое пособие. – Ростов-на Дону: Ростовский гос. ун-т, 2002. – 99 с.

Надійшла до редколегії 30.01.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭРГАТИЧЕСКОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ю.В. Мельник, С.В. Козелков

Обоснована целесообразность применения метода преобразования информативных психофизиологических параметров человека и алгоритма определения обобщенного показателя функционального состояния человека-оператора для исследований эргатических систем общего и специального назначения по сравнению с традиционными статистическими методами.

Ключевые слова: человек-оператор, функциональное состояние, обобщенный показатель, эргатическая система.

FEATURES OF THE MANAGEMENT BY THE ERGOTAL TELECOMMUNICATION SYSTEM OF SPECIAL PURPOSE

Yu.V. Melnik, S.V. Kozelkov

The expediency of using the method of transformation of informative psychophysiological parameters of a person and the algorithm of determination of the generalized index of the functional state of a human operator for the research of ergatic systems of general and special purpose in comparison with traditional statistical methods is substantiated.

Keywords: human-operator, functional state, generalized index, ergatic system.