

Кузовик В. Д.,  
Гордєєв А. Д.,  
Назарчук М. А.

## РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПЕРАТОРІВ ЕКСТРЕМАЛІВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

*Представлено алгоритм ітераційного моделювання для малої вибірки даних на основі методу Монте-Карло, що використовується з метою розрахунку нормованих інтервальних оцінок біологічних параметрів антарктичних зимівників. В якості прикладу роботи алгоритму розраховані параметри крові та електроенцефалографії. Представлений підхід автоматизовано за допомогою статистичних методів програмного середовища MatLab.*

**Ключові слова:** метод Монте-Карло, електроенцефалограф, біологічні параметри, інтегральна оцінка.

### 1. Вступ

В сучасному світі є потреба якісного і швидкого оцінювання психофізіологічного стану (ПФС) здоров'я операторів екстремальних видів діяльності (ОЕВД), наприклад, льотчиків, полярників, спортсменів, водіїв та інші. Країнами світу витрачаються значні зусилля та кошти для якісного професійного відбору ОЕВД [1], яке ґрунтується на процесі оцінювання психофізіологічного стану організму операторів.

В попередніх дослідженнях [2] було виявлено, що лімбічна система синтезує інформаційно-енергетичне поле (ІЕП) організму людини, параметри якого в повній мірі характеризують психофізіологічний стан гомеостазу організму ОЕВД. Оцінювання та прогноз стану роботи ІЕП можна реалізувати на основі комплексу кефалоенцефалографу, із застосуванням попередньої класифікації операторів за типом темпераменту на основі побудованого системного програмного забезпечення. Враховуючи зв'язок лімбічної системи із гуморальною системою організму, додатковим методом ідентифікації стану ІЕП організму ОЕВД обрано параметри крові. Це обґрунтовує актуальність проведеного дослідження.

### 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є процес відбору операторів екстремальних видів діяльності та прогнозування їхнього психофізіологічного стану організму на основі визначення нормованих значень біологічних параметрів організму при наявності генеральної вибірки з малою кількістю експериментальних значень.

Процес реєстрації біологічних даних потребує значних затрат часу та зусиль, через що робота із великою кількістю статистичної вибірки даних не завжди є можливою, що впливає на подальший розрахунок критеріїв професійного відбору ОЕВД. Тому, для підвищення ефективності розрахунку нормованих значень біологічних параметрів, які використовуються в процесі професійного відбору ОЕВД, застосовано ітераційне моделювання за методом Монте-Карло для попереднього класифікованих за типом темпераменту операторів. Серед переваг запропонованого

підходу є можливість моделювати стохастичні вибірки даних та контролювати умови, що накладаються на об'єм ітераційної вибірки, які використовуються для розрахунку нормованих оцінок щодо стану роботи ІЕП організму ОЕВД.

Представлений метод являє собою частину комп'ютеризованої експертної системи, що надає можливість медику-спеціалісту зменшити затрати часу та зусиль для реалізації експериментального дослідження щодо професійного відбору ОЕВД.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є розробка алгоритму ітераційного моделювання, при умові малої вибірки даних, а також його комп'ютеризація, для отримання нормованих кількісних оцінок параметрів електроенцефалографії та аналізу крові, за допомогою якого медик-спеціаліст має можливість оцінити стан інформаційно-енергетичного поля організму ОЕВД як на етапі професійного відбору, так і з метою прогнозування психофізіологічного стану під час перебування оператора в умовах екстремальної діяльності.

Для досягнення поставленої мети треба вирішити наступні задачі:

- 1) проаналізувати існуючі методи ітераційного моделювання стохастичних процесів;
- 2) розробити алгоритм визначення нормованих значень параметрів біооб'єктів;
- 3) реалізувати комп'ютеризований експеримент ітераційного моделювання для розрахунку інтервальних оцінок.

### 4. Аналіз літературних даних

Сучасні інформаційні технології, що активно розвиваються в медичній науці і практиці охорони здоров'я, орієнтовані на аналіз медико-біологічних даних, розроблення методів вилучення з них інформації, формування інтегральних оцінок стану біосистем [3].

Проте, аналіз літературних джерел показав, що 80 % авіаційних катастроф [4], 70 % катастроф в атомній енергетиці та 64 % в на морському флоті [5] сталися

через помилкові дії фахівців, тобто через людський фактор. Майже у 95 % учасників антарктичних експедицій мали місце порушення психофізіологічного стану організму внаслідок довготривалої дії екстремальних факторів зовнішньої середовища [6]. Тобто, існуючі системи професійного відбору потребують вдосконалення своїх методів та засобів із застосуванням комп'ютерних технологій.

Питанням психофізіологічного відбору та розробки інформаційних технологій професійного відбору операторів екстремального виду діяльності займаються як вітчизняні [6], так і зарубіжні [7] вчені.

Побудова інтегральних критеріїв оцінювання психофізіологічного стану (ПФС) організму ОЕВД є ефективним при професійному відборі ОЕВД [8–10], але їх реалізація можлива лише за умови отримання статистично достатньої кількості експериментальних даних, що не завжди вдається досягнути за умови проведення окремих експериментів з ОЕВД.

Статистичне моделювання даних стану біологічних систем є ефективним методом збільшення розміру статистичної вибірки, що дозволяє зменшити варіабельність інтегральної оцінки стану досліджуваної системи в умовах малих об'ємів вхідних експериментальних даних [3].

Останні результати зарубіжних досліджень показують ефективність застосування ітераційного моделювання біологічних параметрів для збільшення розміру вибірки [11, 12]. Проте, в представлених дослідженнях розрахунки проводяться з допущенням про нормальність закону розподілу експериментальних даних, що не завжди є коректним при роботі з біологічними об'єктами.

Важливим аспектом при імітаційному моделюванні є достовірне визначення закону розподілу на основі вибірки з малою кількістю експериментальних даних. Дослідження показали, що для малої вибірки експериментальних даних існують ефективні підходи визначення закону розподілу [13]. Проте, поєднання різних статистичних підходів потребує комп'ютеризації процесу визначення закону розподілу вибірки.

## 5. Матеріали та методи дослідження

**5.1. Методи та засоби, що використовувались в експерименті.** Для реєстрації біосигналів кори головного мозку (КГМ) людини на базі кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини Національного авіаційного університету було розроблено новітній засіб — кефалоенцефалограф, який являється поєднанням існуючих засобів: кефалографа та електроенцефалографа.

Алгоритм обробки електроенцефалографічних даних [2], в якому досліджуються фоновий та перехідний процеси КГМ ОЕВД, дозволяє розрахувати наступні інтегральні параметри для оцінювання ІЕП організму ОЕВД: енергетичний коефіцієнт щільності ( $Q_{ег}$ ), усереднену миттєву швидкість спектральної щільності потужності (СЩП) фонового сигналу ( $Diff_{фон}$ ), усереднену миттєву швидкість СЩП сигналу перехідного процесу ( $Diff_{pp}$ ).

З метою проведення ефективних експериментальних досліджень ОЕВД класифікуються за типом темпераменту для наближення їх індивідуальних психічних та фізіологічних особливостей організму. Для цього використовуються розроблені програмне забезпечення на основі психологічного тестування, за допомогою якого досліджуваних можна згрупувати за 36-ма категоріями

темпераменту. Результати всіх досліджень зберігаються в спеціально розробленій базі даних.

Для отримання нормованих інтервальних оцінок значених параметрів електроенцефалографії та крові, із врахуванням типу темпераменту ОЕВД, застосовано алгоритм ітераційного моделювання на основі методу Монте-Карло, який представлено на рис. 1.

Проте, в представленому алгоритмі існує ряд задач, які потребують вирішення, а саме:

- аналіз випадкових відхилень значень вибірки;
- вірне визначення закону розподілу випадкової вибірки;
- застосування робастних методів обробки вибірки для вибірки з нормальних законом розподілу.

Визначені нормовані інтервальні оцінки параметрів застосовуються як для оцінювання, так і для прогнозування стану ІЕП організму ОЕВД.

**5.2. Аспекти ітераційного моделювання біологічних об'єктів.** Для підвищення якості статистичної вибірки реалізовано аналіз випадкових відхилень значень вибірки методом Граббса:

$$G_n = (x_{(n)} - \bar{x}) / S, \quad (1)$$

де  $x_{(n)}$  — значення вибірки, яка перевіряється на викид;  $\bar{x}$  — середнє арифметичне вибірки;  $S$  — середнє квадратичне відхилення вибірки.

Для реалізації ітераційного моделювання за методом Монте-Карло визначається закон розподілу вибірки. Враховуючи, що критерій Пірсона ( $\chi^2$ ) та складений критерій ( $d$ ) для перевірки на нормальний закон розподілу ( $r_n$ ) не задовольняє або умові довжини вибірки ( $n_{\chi^2} \geq 100$ ), або універсальності ( $d$ -критерій підходить лише для ідентифікації нормального закону розподілу), на початковому етапі реалізується перевірка вибірки на нормальний закон розподілу за критерієм Колмогорова-Смірнова ( $\lambda$ ), використовуючи значення найбільшої абсолютної різниці:

$$\lambda = \sqrt{n} * \max(w_i - w_i^T), \quad (2)$$

де  $w_i = \sum_{j=1}^i \frac{n_j}{n}$  — спостережувані значення сумарної частоти влучень в  $i$ -й інтервал гістограми закону розподілу;

$n_j$  — кількість влучень випадкової величини в  $j$ -й інтервал гістограми закону розподілу;  $n$  — кількість спостережуваних випадкових чисел;  $w_i^T = F(x_i)$  — теоретичні значення сумарної частоти влучень в  $i$ -й інтервал гістограми закону розподілу, розраховані за законом розподілу  $F(x)$  випадкової величини  $\zeta$ ;  $x_i$  — середина  $i$ -го інтервалу гістограми закону розподілу. Критерій Колмогорова-Смірнова також можна використовувати для перевірки на наступні закони розподілу вибірки:

- нормальний закон розподілу ( $r_n$ );
- експоненціальний закон розподілу ( $r_e$ );
- логарифмічно-нормальний закон розподілу ( $r_n$ );
- закон розподілу  $\chi$ -квадрат ( $r_{\chi}$ );
- закон розподілу Релея ( $r_p$ );
- закон розподілу Вейбула ( $r_w$ ).

Таким чином, провівши аналіз, було виявлено, що критерій Колмогорова-Смірнова є універсальним для визначення виду закону розподілу, а також його можна використовувати для вибірок з малою кількістю даних.

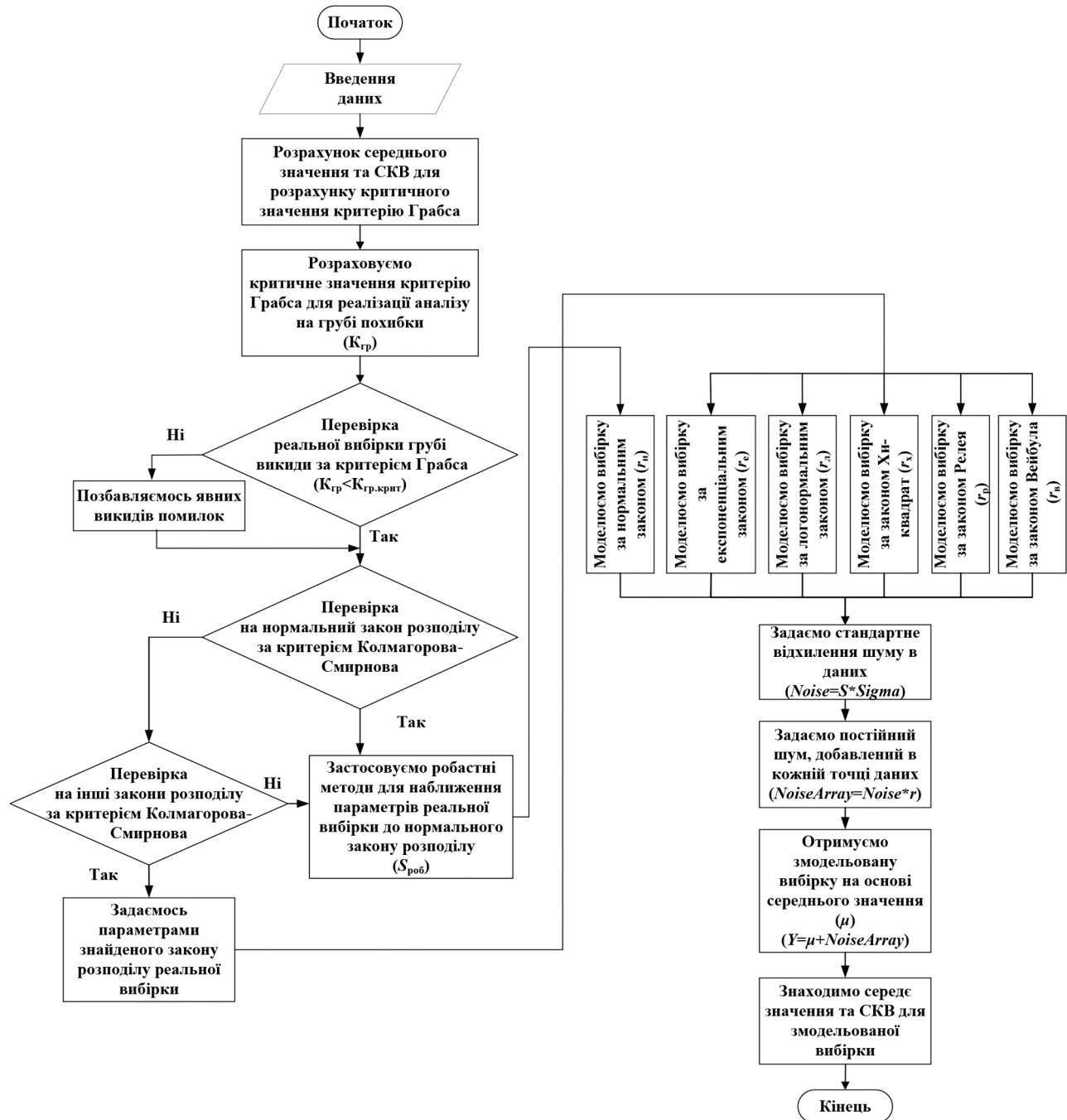


Рис. 1. Алгоритм ітераційного моделювання біологічних параметрів людини

Для збільшення ефективності ітераційного моделювання при умові виявлення нормальності закону розподілу вибірки в алгоритмі застосовується робастний метод обробки даних, який дозволяє імітувати наближення статистичних оцінок малої вибірки даних до нормального закону великої кількості даних. Розрахунок за робастним методом комп'ютеризовано за наступним алгоритмом [8]:

- наявні вибіркові експериментальні дані ранжуються по наростанню;
- розраховується медіана ранжованого ряду:  $M = \text{med}\{x_i\}$ ;
- розраховується абсолютне відхилення експериментальних даних від медіани:  $|x_i - M|$ ;
- ранжуються абсолютні відхилення по наростанню:  $|x_i - M|_{\min} \dots |x_i - M|_{\max}$ ;

- розраховується медіана для ранжованого абсолютного відхилення:  $MAD_n = \text{med}\{|x_i - M_n|\}$ ;
- розраховується робастна оцінка СКВ:  $S_{\text{роб}}(x_i) = K(n) \cdot MAD_n$ .

Відповідно до алгоритму (рис. 1), для ітераційного моделювання біологічних параметрів використано метод Монте-Карло, який комп'ютеризовано за наступним алгоритмом:

- задавшись законом розподілу ( $r$ ), за експериментальною вибіркою визначаються статистичні оцінки цієї вибірки: середнє квадратичне відхилення  $S$  (СКВ); середнє арифметичне  $\mu$ ;
- завдяки лічильнику випадкових чисел, робота якого задана на основі СКВ розподілу експериментальних даних ( $S$ ) та відхиленню ( $Sigma$ ), задається шум вибірки ( $Noise$ );

— додається сформований вектор шуму (*NoiseArray*) до середнього арифметичного реальної вибірки для розрахунку вихідного вектору імітованих значень (*Y*).

Використовуючи змодельовані значення параметрів електроенцефалографії та параметрів аналізу крові певної підгрупи операторів, розраховується інтервальна оцінка (*v*) при відомому середньому квадратичному відхиленні (СКВ) та при обраному рівні значущості  $\alpha = 0,05$ :

$$P\left(\bar{x} - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n-1}} < v < \bar{x} + t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n-1}}\right) = 1 - \alpha, \quad (3)$$

де *n* — кількість вибірки;  $t_{\alpha, n-1}$  — коефіцієнт Стюдента;  $\bar{x}$  — середнє арифметичне вибірки; *S* — середнє квадратичне відхилення.

## 6. Результати досліджень

Для прикладу практичної реалізації алгоритму ітераційного моделювання за методом Монте-Карло біологічних параметрів людини, представлено результати експериментальних досліджень, реалізованих з представниками однієї з груп професій екстремального виду діяльності — антарктичними зимівниками (полярниками). Так як серед представників даної професії найчастіше зустрічались оператори 31-го та 35-го типу темпераменту наступні результати представлено саме для цих підгруп. В експерименті приймали участь 21 оператор 31-ї підгрупи та 16 операторів 35-ї підгрупи.

На основі запропонованого алгоритму було побудовано нормовані інтервальні оцінки 10 параметрів крові антарктичних зимівників: лейкоцити (нормальний закон розподілу); еритроцити (нормальний закон розподілу); гемоглобін (нормальний закон розподілу); гематокрит (нормальний закон розподілу); тромбоцити (нормальний закон розподілу); середній вміст *Hb* в еритроциті (нормальний закон розподілу); різномірність еритроцитів по об'єму (логарифмічно-нормальний закон розподілу); сечовина (логарифмічно-нормальний закон розподілу); креатинін (логарифмічно-нормальний закон розподілу); глюкоза (нормальний закон розподілу). Враховуючи, що більшість біологічних параметрів організму мають нормальний закон розподілу було застосовано алгоритм робастного розрахунку статистичних оцінок та розраховано нормовані інтервальні оцінки, формула (3), зазначених параметрів, що представлено в табл. 1.

Таким чином, використання ітераційного моделювання за методом Монте-Карло дозволило звузити нормовані інтегральні оцінки показників крові для кожної з типів темпераменту операторів. Отримані результати аналізів крові відповідають нормованим діапазнам в медичній практиці.

В табл. 2 представлено результати ітераційного моделювання параметрів електроенцефалограми. Отримані інтервальні оцінки електроенцефалографічних параметрів корелюють з показниками крові операторів, які пройшли професійний відбір, тобто представлений алгоритм ітераційного моделювання дозволяє ефективно реалізувати процес професійного відбору ОЕВД, застосовуючи інтегральне оцінювання стану ІЕП організму.

Таблиця 2

Нормовані та змодельовані показники електроенцефалограми антарктичних зимівників

Група операторів	Інтервальні оцінки параметрів $Q_{veg}$ та $Diff_{fon}$ до експедиції	Інтервальні оцінки параметрів $Q_{veg}$ та $Diff_{fon}$ після експедиції
31 підгрупа без моделювання	$0,644 \leq Q_{veg} \leq 0,850$ $0,122 \leq Diff_{fon} \leq 0,138$	$0,540 \leq Q_{veg} \leq 0,975$ $0,120 \leq Diff_{fon} \leq 0,139$
31 підгрупа після моделювання	$0,741 \leq Q_{veg} \leq 0,752$ $0,129 \leq Diff_{fon} \leq 0,130$	$0,882 \leq Q_{veg} \leq 0,896$ $0,143 \leq Diff_{fon} \leq 0,145$
35 підгрупа без моделювання	$0,612 \leq Q_{veg} \leq 0,846$ $0,134 \leq Diff_{fon} \leq 0,147$	$0,724 \leq Q_{veg} \leq 0,953$ $0,129 \leq Diff_{fon} \leq 0,152$
35 підгрупа після моделювання	$0,835 \leq Q_{veg} \leq 0,843$ $0,140 \leq Diff_{fon} \leq 0,141$	$0,864 \leq Q_{veg} \leq 0,878$ $0,134 \leq Diff_{fon} \leq 0,135$

Для реалізації професійного відбору за допомогою розробленого алгоритму програмної системи було залучено 36 претендентів у полярники з різними вадами легких захворювань та 36 операторів, які були відібрані для виконання своїх професійних обов'язків та успішно їх виконали.

У результаті експериментальних досліджень встановлено, що співпадіння сформованого рішення за допомогою розробленої програмної системи та діагнозів медиків-спеціалістів спостерігалось у 62 випадках (86 %), порівняно з 49 випадками (68 %) при застосуванні інших програмних систем професійного відбору операторів. Тобто підвищення ефективності професійного відбору відбулося на 20 %.

## 7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Завдяки ітераційному моделюванню за методом Монте-Карло розраховано нормовані інтервальні оцінки параметрів електроенцефалограми ( $Q_{veg}$ ,  $Diff_{fon}$ ,  $Diff_{pp}$ ) та крові, які дозволяють оцінювати стан ІЕП організму операторів екстремальних видів діяльності та реалізувати їх професійний відбір.

Представлений підхід апробовано на невеликій вибірці експериментальних даних, через що в майбутніх дослідженнях будуть внесені корективи розрахованих нормованих значень показників. Проте, підібраний алгоритм статистичних розрахунків розрахований саме на малу вибірку експериментальних даних, що в майбут-

Таблиця 1

Нормовані та змодельовані показники аналізу крові антарктичних зимівників

Показник крові	Усереднені значення зимівників без застосування ітераційного моделювання		Усереднені значення зимівників із застосуванням моделювання	
	31 підгрупа	35 підгрупа	31 підгрупа	35 підгрупа
Лейкоцити (WBC), $\cdot 10^9/\text{л}$	4,84 ÷ 7,16	5,02 ÷ 6,46	5,41 ÷ 6,6	5,37 ÷ 6,08
Еритроцити (RBC), $\cdot 10^{12}/\text{л}$	4,39 ÷ 5,01	4,66 ÷ 5,14	4,54 ÷ 4,86	4,85 ÷ 5,1
Гемоглобін (Hb), $\cdot 10^{12} \text{ г/л}$	132,9 ÷ 147,1	136,4 ÷ 155,2	136,7 ÷ 143,4	140,8 ÷ 150,5
Гематокрит (HCT), %	41,9 ÷ 47,5	41 ÷ 45,4	42,1 ÷ 44,26	43,27 ÷ 46,1
Тромбоцити (PLT), $\cdot 10^9 \text{ л}$	199,1 ÷ 266,9	237,43 ÷ 263,37	215,7 ÷ 249,9	243,46 ÷ 257,1
Середній вміст Hb в еритроциті (MCH), $\cdot 10^{-12} \text{ г}$	27,9 ÷ 31,61	28,56 ÷ 29,96	28,9 ÷ 30,8	28,89 ÷ 29,6
Різнорідність еритроцитів по об'єму (RDV), %	12,08 ÷ 12,88	11,86 ÷ 12,86	12,27 ÷ 12,66	12,08 ÷ 12,64
Сечовина, ммоль/л	2,44 ÷ 5,52	4,9 ÷ 7,26	3,18 ÷ 4,73	5,47 ÷ 6,3
Креатинін, ммоль/л	62,9 ÷ 75,34	63,58 ÷ 82,14	65,68 ÷ 72,35	68,43 ÷ 77,68
Глюкоза, ммоль/л	4,68 ÷ 5,64	4,44 ÷ 5,84	4,92 ÷ 5,4	4,79 ÷ 5,43

ньому, при збільшенні вибірки, потребуватиме зміни алгоритмів програмного продукту.

Представлений напрям досліджень можна використати в медичних установах для оцінювання психофізіологічної готовності досліджуваних до трансплантації внутрішніх органів, а також для індивідуального підбору донорів. Результати прогнозування ПФС досліджуваних можна використати під час реабілітації, наприклад, для підвищення якості підбору лікарських засобів.

На якість електроенцефалографічних досліджень впливають різні зовнішні фактори. Тому, для підвищення якості отриманих даних необхідно дотримуватись жорстких правил реалізації експериментальних досліджень. Враховуючи складність алгоритму можуть виникнути ситуації, коли в одному із досліджуваних параметрів приймається два закону розподілу величини, що потребує уваги експериментатора та ручного вибору закону розподілу із запропонованих для застосування подальшого ітераційного моделювання.

## 8. Висновки

1. Проведено аналіз існуючих методів ітераційного моделювання стохастичних процесів, серед яких обрано метод Монте-Карло як оптимальний для моделювання біологічних параметрів організму операторів екстремальних видів діяльності.

2. Розроблено та комп'ютеризовано алгоритм визначення нормованих інтервальних оцінок параметрів біооб'єктів, завдяки якому враховуються випадкові відхилення вибірки, закон розподілу вибірки, застосовується робастний метод, який збільшує достовірність моделювання.

3. Реалізовано експеримент ітераційного моделювання проведений на основі отриманих параметрів електроенцефалографії та крові для антарктичних зимовників, що дозволив отримати нормовані інтервальні оцінки зазначених біологічних параметрів, які застосовуються для оцінювання стану інформаційно-енергетичного поля організму операторів та професійного відбору останніх.

## Література

- Бодров, В. А. Психология профессиональной пригодности [Текст]: учебное пособие / В. А. Бодров. — М.: ПЕР СЭ, 2006. — 511 с.
- Кузовик, В. Д. Статистична обробка параметрів перехідних процесів біоритмів кори головного мозку [Текст] / В. Д. Кузовик, А. Д. Гордєєв // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2016. — № 4/2(30). — С. 59–64. doi:10.15587/2312-8372.2016.74649
- Фокин, В. А. Статистическое моделирование данных при оценке состояния биологических систем [Текст] / В. А. Фокин // Известия Томского политехнического университета. — 2007. — Т. 311, № 5. — С. 132–135.
- Про схвалення Концепції Державної цільової програми безпеки польотів на період до 2015 року [Електронний ресурс]: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 05.03.2009 № 273-р. — Режим доступу: \www/URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/273-2009-р
- Швец, А. В. Інформаційна технологія психофізіологічного оцінювання надійності діяльності та підтримки працездатності військових операторів [Текст]: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.03 / А. В. Швец; Науково-дослідний інститут проблем військової медицини Української військово-медичної академії МО України. — К., 2015. — 47 с.
- Моїсеєнко, Є. В. Психофізіологічний супровід антарктичних експедицій [Текст] / Є. В. Моїсеєнко, В. І. Сухоруков, С.-А. Й. Мадяр та ін. — К., 2006. — 35 с.
- Уэйберг, Р. С. Основы психологии спорта и физической культуры [Текст]: пер. с англ. / Р. С. Уэйберг, Д. Гулд. — К.: Олімпійська література, 1998. — 334 с.
- Володарський, Є. Т. Статистичне оцінювання професійної придатності операторів екстремальних видів діяльності [Текст] / Є. Т. Володарський, О. В. Булигіна // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2012. — № 3. — С. 71–78.
- Кузовик, В. Д. Апаратно-програмний комплекс для оцінювання психофізіологічного стану оператора [Текст] / В. Д. Кузовик, А. Д. Гордєєв // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2014. — № 1/5(15). — С. 44–46. doi:10.15587/2312-8372.2014.21740
- Кузовик, В. Д. Аспекты планирования и реализации экспериментальных исследований психофизиологического состояния операторов экстремальных видов деятельности [Текст] / В. Д. Кузовик, Е. В. Булыгина, А. Д. Гордеев // Материалы 23-й Международной научно-практической конференции «КримИКо2013». «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 9–13 сентября 2013, г. Севастополь. — Севастополь: Вебер, 2013. — С. 1081–1082.
- Soboyejo, A. B. O. A New Statistical Biomechanics Modeling of Physical and Biochemical Parameters of Bone Strength [Text] / A. B. O. Soboyejo, K. E. Nestor // Key Engineering Materials. — 2001. — Vol. 198–199. — P. 261–290. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.198-199.261
- Antoniouk, A. V. Mathematics and Life Sciences [Text] / A. V. Antoniouk, R. V. N. Melnik. — Berlin, Boston: De Gruyter, 2013. — 316 p. doi:10.1515/9783110288537
- Ішемгузін, І. Є. Спеціальні критерії згоди для малої вибірки при оцінці надійності нафтопромислового обладнання [Текст] / І. Є. Ішемгузін, А. Р. Атнагулов, А. Н. Зотов, Є. І. Ішемгузін // Нафтогазова справа. — 2008. — № 1. — С. 44.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАТОРОВ ЭКСТРЕМАЛОВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Представлен алгоритм итерационного моделирования для малой выборки данных на основе метода Монте-Карло, который используется для расчета нормированных интервальных оценок биологических параметров антарктических зимовщиков. В качестве примера работы алгоритма рассчитаны параметры крови и электроэнцефалографии. Представленный подход автоматизировано с помощью статистических методов программной среды MatLab.

**Ключевые слова:** метод Монте-Карло, электроэнцефалограф, биологические параметры, интегральная оценка.

*Кузовик Вячеслав Данилович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біокибернетики та аерокосмічної медицини, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.*

*Гордєєв Артем Дмитрович, аспірант, асистент, кафедра біокибернетики та аерокосмічної медицини, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.*

*Назарчук Микола Андрійович, аспірант, кафедра біокибернетики та аерокосмічної медицини, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: Skorpion2810@ukr.net.*

*Кузовик Вячеслав Данилович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биоклибернетики и аэрокосмической медицины, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.*

*Гордеев Артем Дмитриевич, аспирант, ассистент, кафедра биоклибернетики и аэрокосмической медицины, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.*

*Назарчук Николай Андреевич, аспирант, кафедра биоклибернетики и аэрокосмической медицины, Национальный авиационный университет, Украина.*

*Kuzovyk Vyacheslav, National Aviation University, Kyiv, Ukraine. Gordieiev Artem, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.*

*Nazarchuk Mikola, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: Skorpion2810@ukr.net*