

DOI <https://doi.org/10.15407/usim.2019.0X.070>  
УДК 004.942

**О.В. БАБАК**, канд. техн. наук, ст. науковий співробітник,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
НАН та МОН України, просп. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна,  
[dep175@irtc.org.ua](mailto:dep175@irtc.org.ua); [babak@irtc.org.ua](mailto:babak@irtc.org.ua)

**І.В. СУРОВЦЕВ**, д-р техн. наук, ст. науковий співробітник,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
НАН та МОН України, просп. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна,  
[dep175@irtc.org.ua](mailto:dep175@irtc.org.ua); [igorsur52@gmail.com](mailto:igorsur52@gmail.com)

**О.Е. ТАТАРІНОВ**, науковий співробітник,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
НАН та МОН України, просп. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна,  
[dep175@irtc.org.ua](mailto:dep175@irtc.org.ua); [al.ed.tatarinov@gmail.com](mailto:al.ed.tatarinov@gmail.com)

**В.М. ГАЛІМОВА**, канд. хімічних наук, в.о. доцента,  
Національний університет біоресурсів та природокористування України (НУБ та П України)  
вул. Героїв Оборони, 17, Київ, 03041, Україна,  
[galimova2201@gmail.com](mailto:galimova2201@gmail.com)

## СПОСІБ ПОБУДОВИ ПСИХОФІЗИЧНОЇ ШКАЛИ ОЦІНЮВАННЯ СТАНІВ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТА

---

*Розглянуто актуальну проблему електронних трансформацій, як початкову фазу періоду е-трансформації. Створено спосіб побудови психофізичної шкали оцінювання стану досліджуваних об'єктів, заснований на використанні розробленої процедури комп'ютерного пасивного (активного) уявного повного факторного експерименту. Перевагою запропонованого способу є те, що він може бути застосований не лише тоді, коли вихідний параметр розподілено за нормальним законом розподілу, а й за інших законах розподілу.*

**Ключові слова:** уявний повний факторний експеримент, функція відгуку, оцінювання, узагальнений параметр, математична модель, психофізична шкала.

### Вступ

При проведенні досліджень у різних областях науки і техніки перед експериментаторами постає важливе завдання скорочення кількості натурних експериментів. Це пояснюється тим, що вони не тільки пов'язані з втратою часу, а й часто із серйозними витратами матеріальних ресурсів. Зауважимо, що в цьому разі поняття досліджуваного об'єкта необхідно розуміти в найширшому сенсі цього слова. Наприклад, в екології — це забруднення води та ґрунту

токсичними елементами, в металургії — нова марка сталі, у фармакології — нові ліки, в медицині — здоров'я хворого тощо. Тому бажання дослідника якомога більше дізнатися про об'єкт, оцінивши його стан, але не здійснюючи повного обсягу експериментів, є природним. Як правило, досвідчений експериментатор володіє необхідними попередніми знаннями для вирішення непростого завдання створення психофізичної шкали оцінювання стану об'єкта.

Нагадаймо, що призначенням цієї шкали є встановлення відповідності між фізичними та психологічними (числовими) параметрами. Зараз на практиці доволі поширеним є використання такої шкали, побудованої на підставі функції бажаності Е. Харрінгтона [1]. У [2] показано, що ця функція є частково видозміненою функцією запису закону нормального розподілу, тому користуватися створеною на цій основі шкалою можна з певною обережністю. Слід усе ж переконатися, що закон розподілу випадкової величини є нормальним або близький до нього на теоретичному рівні, або ж на практичному — побудувавши гістограму. В іншому разі це може призвести до серйозних помилок.

У статті здійснено спробу розробити спосіб побудови психофізичної шкали, що виключає необхідність знання закону розподілу. Для реалізації такої шкали оцінювання стану об'єкта ми застосуємо процедуру, умовно названу комп'ютерним пасивним (активним) уявним повним факторним експериментом (УПФЕ). Пасивний УПФЕ характеризується невизначеністю та непередбачуваністю оцінки вихідного параметра. Для цього також може слугувати певний інтегральний індекс (узагальнений параметр), що визначає формальний взаємозв'язок факторів. У цьому разі для отримання математичної моделі оцінювання використовується ортогональна матриця повного факторного експерименту.

На відміну від пасивного активний УПФЕ характеризується визначеністю та передбачуваністю оцінки вихідного параметра. Для цього також може служити певний інтегральний індекс (узагальнений параметр), що відображає неформальний взаємозв'язок факторів, який відповідає реальному функціонуванню об'єкта. Далі процес отримання математичної моделі не відрізняється від уже згаданого.

## Постановка задачі

Розробити спосіб побудови психофізичної шкали оцінювання стану досліджуваного

об'єкта. В основу способу покласти пасивний (активний) УПФЕ. Результати, а саме отримані значення вихідної змінної (функції відгуку), можна використовувати як узагальнений параметр, що відображає реальне функціонування об'єкта. Побудувати психофізичну шкалу оцінювання стану досліджуваного об'єкта, застосовуючи її для експертних оцінок. Реалізацію способу показати на прикладах.

## Розв'язання задачі

Із постановки задачі випливає, що ефективний розв'язок залежить від обґрунтованого синтезу узагальненого параметра, що є функцією відгуку. Перш ніж перейти до суті питання необхідно зупинитися на тому, що серед різновидів методів дослідження об'єктів чітко виділяються два види: пасивний і активний експеримент.

При пасивному експерименті втручання в стан об'єкта не відбувається. Дослідник просто через прилади спостерігає за його станом. Іноді, особливо це стосується екології, такий експеримент є носієм інформації про об'єкт, який не змінюється протягом тривалого проміжку часу. У зв'язку з цим моделювання об'єкта має описовий характер, що означає погіршення (поліпшення) стану об'єкта, а синтезованим вихідним параметром може слугувати певна величина в основі якої лежить узагальнена функція бажаності [1]

$$D = \sqrt[n]{\prod_j d_j}, \quad (1)$$

де  $d_j$  — окремі фактори (відгуки),  $n$  — кількість факторів.

Ця величина (позначмо її  $\nu$ ) в інтегральній формі може відображати різні статичні стани об'єкта. Оскільки вона має виключно описовий характер і може не мати фізичного сенсу, назвімо процедуру оцінювання стану об'єкта комп'ютерний пасивний УПФЕ.

Активний експеримент засновано на примусових штучних збуреннях в роботі об'єкта за заздалегідь визначеною програмою. Поряд з незаперечними перевагами, недоліком

його є те, що такі збурення можуть призвести до порушення нормального функціонування об'єкта, а іноді ускладнити реалізацію експерименту. Однак усунути цей недолік можна застосувавши процедуру комп'ютерного активного УПФЕ. При цьому, природно, потрібно синтезувати вихідну залежну змінну у вигляді узагальненого параметра. У цьому разі застосовується інший підхід, який базується на редукції (згортанні) інформації про об'єкт без скорочення числа факторів. Як наслідок, вихідна багатовимірна задача відновлення лінійної залежності перетворюється на одновимірну зі збереженням найважливіших властивостей багатовимірної задачі [3]. Зупинімося на цьому питанні детальніше.

Вважаємо, що досліджуваний об'єкт характеризується певною випадковою вибіркою даних, отриманих в результаті пасивного експерименту:

$$\{x_{ij}, y_i\}, i = \overline{1, \ell}, j = \overline{1, n}, \forall x_{ij} \neq 0,$$

де  $x_{ij}, j = \overline{1, n}$  — некорельовані між собою незалежні змінні (фактори),  $\ell$  — довжина вибірки.

Відомо, що всі фактори є істотними й виключення будь-якого з них може призвести до неприпустимої похибки. Потрібно в певному сенсі перетворити вихідну багатовимірну задачу на подібну до неї одновимірну.

Для розв'язання поставленої задачі методом найменших квадратів (МНК) відновимо лінійну регресію за даними вибірки

$$a_0 + \sum_{j=1}^n a_j x_j = y. \quad (2)$$

Вхідні оцінки коефіцієнтів  $a_0, a_j, j = \overline{1, n}$  є складовими градієнта цільової функції в залежності (2), тобто її частковими похідними за  $j$ -м фактором. Зазначимо, що надалі ми не будемо акцентувати увагу на точності оцінки кількісних значень, оскільки отриманий розв'язок містить цікавішу інформацію про напрямки складових градієнта або, іншими словами, про знаки при  $a_j, j = \overline{1, n}$ . Завдяки цій інформації можна синтезувати у вигляді добутку узагальнену змінну  $v = \varphi(x)$ , що зберігає властивості всього комплексу чинників з погляду їхнього впливу на цільову функцію:

$$v = \prod_{j=1}^n x_j^{p_j}, \quad (3)$$

де  $p_j = \pm 1$ , причому знак збігається зі знаком відповідної складової градієнта. Очевидно, що при обчисленні (3) можна користуватися й нормованими, й ненормованими значеннями  $x_j$ , тоді вихідні дані можуть бути перетворені на вибірку

$$\{v_i, y_i\} i = \overline{1, \ell}, v_i = f(x_{ij}),$$

за якою можна відновити одновимірну регресію

$$a_{0v} + a_{1v} v_i = y_i, \quad (4)$$

лінійну за параметрами, але істотно нелінійну за вихідними змінними. Особливістю такого перетворення є те, що функції (2) і (4) у певному сенсі є подібними. Іншими словами, поведінка (спадання, зростання) лінійної функції (2) та відповідної до неї нелінійної за змінними функції (4) в залежності від характеру змін того чи іншого фактора буде однаковою. Оскільки в цьому плані функція (2) є подібною до одержаної залежності, відповідно функція (4) також буде подібною. Можна говорити про те, що отримане співвідношення (3), яке по суті є «образом» дійсного вихідного параметра, являє собою інтегральну характеристику досліджуваного об'єкта. Ця обставина уможливорює ефективне здійснення процедури активного УПФЕ [4]. Слід зазначити, що описаної процедури синтезу співвідношення (3) можна уникнути, якщо на евристичному рівні відомі точні напрямки складових градієнта функції відгуку (2). Остаточного вираз для узагальненого вихідного параметра (3) набуває вигляду

$$v = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_j^{p_j}}. \quad (5)$$

Вочевидь, це середнє геометричне значення  $x_j^{p_j}$ , яке за  $p = 1$  є подібним до узагальненої функції бажаності [1], що має вигляд (1).

Отже, в загальному випадку, якщо є відомими значущі фактори  $\{x_j\}$ , спосіб побудови психофізичної шкали для досліджуваного об'єкта складається з таких попередніх кроків:

- беручи до уваги дані вихідної вибірки, отримані в результаті пасивного експерименту,

здійснюємо синтез узагальненого вихідного параметра (5);

- на евристичному рівні виконуємо експертне оцінювання меж зміни всіх факторів  $[x_{j\min}; x_{j\max}]$ ,  $j = \overline{1, n}$ , при цьому припускаємо, що модель об'єкта є лінійною;

- складаємо матрицю ортогонального планування, за  $n > 3$  доповнюємо її дробовими репліками [5];

- здійснюємо УПФЕ, заповнюючи стовпець матриці  $v$  величинами  $v_i$  (5) з урахуванням відповідних кодованих у її рядках граничних натуральних або нормованих значень  $x_{j\max}$  та  $x_{j\min}$ ;

- визначаючи оцінки коефіцієнтів  $b_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  в результаті оброблення МНК матриці УПФЕ, отримуємо лінійну модель об'єкта

$$y = \sum_{j=0}^n b_j x_j^k. \quad (6)$$

Після виконання попередніх етапів можна перейти безпосередньо до побудови психофізичної шкали оцінювання стану досліджуваного об'єкта. Одразу зауважимо, що тут не обійтися без експертного лінгвістичного оцінювання. Зупинимось на п'ятибальній шкалі, хоча можливі й інші варіанти.

Іноді, беручи до уваги зростаючу зміну значень стовпця  $v$ , корисним є впорядкування рядків матриці УПФЕ у такий спосіб:  $v_{i+1} > v_i$ . Впорядкування такого роду символічно говорить про поступальну зміну стану об'єкта дослідження в кращий (гірший) бік. Надалі процес оцінювання впорядкованих рядків матриці УПФЕ цілком залежить від досвіду та інтуїції експерта. Ця остання операція завершує процедуру побудови психофізичної шкали оцінювання стану досліджуваного об'єкта. Пропонований спосіб побудови пси-

хофізичної шкали доцільно проілюструвати прикладами.

Як перший приклад розглянемо оцінювання ступеня забруднення певної площі ґрунту важкими металами (ВМ):  $Pb$ ,  $Cd$ ,  $Zn$ ,  $Cu$  на основі пасивного УПФЕ. Дані, отримані в процесі комп'ютерного експерименту, наведено в [2]. У зв'язку з тим, що знати ці значення не принципово, обмежимося лише граничними нормованими та кодованими ( $\pm 1$ ) величинами концентрацій (табл. 1).

Оскільки, під час нормування дані стають «рівноправними», слід врахувати показники їхньої ваги  $k$ . У найпростішому випадку можна сортувати їх за ступенем важливості, враховуючи атомну вагу кожного ВМ. При цьому сума показників  $k_j$ ,  $j = \overline{1, 4}$ , дорівнює одиниці ( $k_1 = 0,46$ ;  $k_2 = 0,25$ ;  $k_3 = 0,15$ ;  $k_4 = 0,14$ ).

У табл. 1 значення  $x$ ,  $x^k$  нормовано, відповідно, кодовано значення концентрації ВМ, причому, значення  $kx$  перетворено з урахуванням вагового коефіцієнта кожного металу  $k_j$ ,  $j = \overline{1, 4}$ .

Отже, ми маємо справу з пасивним експериментом реєстрації в статистиці певних значень факторів, яким відповідає вихідна залежна змінна — певна невизначена величина, і, що найголовніше, мало передбачувана в майбутньому (наприклад, врожайність тієї чи іншої сільськогосподарської культури). Тому синтез такого узагальненого параметра  $v$  є ускладненим і може бути здійсненим досить орієнтовно досвідченим фахівцем в агрохімії. Оскільки, найголовнішим є ступінь забруднення ґрунту, то саме цей показник може бути використано як реальний узагальнений параметр. Тоді з фізико-хімічного погляду

в співвідношенні (4)  $p_j = 1$ , тобто  $v = \sqrt[4]{\prod_{j=1}^4 x_j}$ .

У табл. 2 здійснено УПФЕ  $m = 2^N$ , де в якості стовпця  $x_4^k$  використано дробову репліку. Обчислюючи  $v_i$  та заповнюючи відповідний стовпець в ортогональній матриці, знаходимо

$$M_i = k_0 v_i, \text{ де } k_0 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \frac{L_i}{v_i}. \quad (7)$$

Таблиця 1. Максимальні та мінімальні значення концентрацій важких металів

$x$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_1^k$	$x_2^k$	$x_3^k$	$x_4^k$
$x_{\max}$	1	1	1	1	+1	+1	+1	+1
$x_{\min}$	0,1	0,1	0,1	0,1	-1	-1	-1	-1
$kx_{\max}$	0,46	0,25	0,15	0,14	+1	+1	+1	+1
$kx_{\min}$	0,046	0,014	0,015	0,014	-1	-1	-1	-1

При цьому колонка  $L_i$  заповнюється за допомогою оцінок експерта.

У табл. 2 та далі по тексту одиницю при кодованих значеннях  $k_j x_j$  опускаємо з метою спрощення.

Беручи до уваги значення  $M$ , отримаймо лінійну шкалу, в якій підкреслено вузлові точки, що відповідають колонці лінгвістичних оцінок  $L$ , отриманих внаслідок експертного оцінювання небезпеки сполучення окремих ВМ:

$$M: \underline{1,22}; \underline{4,27}; 7; 10; \underline{12,2}.$$

Екстраполюймо точки 7 і 10 враховуючи, що збільшення значень точок шкали відповідає збільшенню значень  $v$ . Виконавши нескладні обчислення, з ортогональної матриці (табл. 3) знаходимо оцінки коефіцієнтів лінійної моделі [5]

$$M = 4,88 + 1,3725x_1^k + 1,3725x_2^k + 1,3725x_3^k + 1,3725x_4^k. \quad (8)$$

Психофізичну шкалу наведено в табл. 3.

Доцільно розглянути використання табл. 3 для оцінювання стану об'єктів у межах зміни  $k$ -х табл.1. Враховуючи значення та формулу кодування [5]  $x_j^k = (x_j - x_{0j}) \cdot I_j^{-1}$ , спочатку визначмо величини  $x_{0j} = (x_{j \max} + x_{j \min})/2$  та  $I_j = (x_{j \max} - x_{j \min})/2$ :

$$\begin{aligned} x_{01} &= 0,253; & I_1 &= 0,207; \\ x_{02} &= 0,138; & I_2 &= 0,113; \\ x_{03} &= 0,083; & I_3 &= 0,068; \\ x_{04} &= 0,008; & I_4 &= 0,063. \end{aligned}$$

Об'єкт 1:  $k_1 x_1 = 0,46 \cdot 0,922 = 0,42$ ;  $k_2 x_2 = 0,25 \cdot 0,930 = 0,23$ ;  $k_3 x_3 = 0,15 \cdot 0,237 = 0,04$ ;  $k_4 x_4 = 0,14 \cdot 0,994 = 0,13$ . Кодуючи їх, отримаємо:

$$M_9 = 4,88 + 1,11 + 1,11 - 0,86 + 1,08 = 7,32.$$

$L_9$  — «погано».

Об'єкт 2:  $k_1 x_1 = 0,46 \cdot 0,403 = 0,19$ ;  $k_2 x_2 = 0,25 \cdot 0,690 = 0,17$ ;  $k_3 x_3 = 0,15 \cdot 0,734 = 0,11$ ;  $k_4 x_4 = 0,14 \cdot 0,718 = 0,11$ . Кодуючи їх, отримаємо:

$$M_{18} = 4,88 - 0,41 + 0,41 + 0,5 + 0,7 = 6,08.$$

$L_{18}$  — «задовільно».

Як другий приклад оцінювання стану певного об'єкта використаємо процедуру комп'ютерного активного УПФЕ. При цьому зупинімося на одній важливій обставині, що показує вплив помилки некоректного синтезу  $v$ . Нехай межі натуральних значень, що описують фактори об'єкта, є такими:  $x_{1w} \in [0,2, 10]$ ,  $x_2 \in [0,1, 0,8]$ ,  $x_3 \in [200, 900]$ ,  $x_4 \in [300, 700]$ .

*Перший випадок.* Нехай на підставі реальних даних пасивного експерименту синтезовано величину  $v_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4^{-1}$ . Оскільки число факторів  $n = 4$ , то ортогональна матриця УПФЕ не зміниться. Виконуючи всі операції попереднього прикладу, знайдемо величину  $v_{1i}$  (табл. 4). При цьому встановлюємо точки лінійної шкали  $M_1$ : 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8.

*Другий випадок.* За відсутності даних пасивного експерименту дослідник вирішив прийняти величину  $v_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$  як синтез

Таблиця 2. Ортогональна матриця пасивного УПФЕ

$m \setminus x$	$x_0^k$	$x_1^k$	$x_2^k$	$x_3^k$	$x_3^k$	$v_i$	$M_i$	$L_i$
1	+	+	+	—	—	0,07	4,27	погано (2)
2	+	—	—	—	—	0,02	1,22	дуже добре (5)
3	+	+	—	—	—	0,07	4,27	погано (2)
4	+	—	+	—	+	0,07	4,27	задовільно (3)
5	+	+	+	+	+	0,2	12,2	дуже погано (1)
6	+	—	—	+	—	0,07	4,27	добре (4)
7	+	+	—	+	—	0,07	4,27	погано (2)
8	+	—	+	+	—	0,07	4,27	задовільно (3)



узагальненого вихідного параметра. Аналогічно знаходимо величини  $v_{2i}$  та заносимо їх до табл. 4, тоді точки лінійної шкали  $M_2$ : 6; 9; 12; 15; 18; 21; 24; 47.

Визначмо за даними табл. 4 коефіцієнти лінійних моделей у першому та другому випадках:

$$M_1 = 1,05 + 0,275x_1^k + 0,1x_2^k + 0,025x_3^k - 0,2x_4^k, \quad (9)$$

$$M_2 = 19,75 + 0,75x_1^k + 5x_2^k + 4x_3^k + 2,5x_4^k. \quad (10)$$

На підставі висновку експерта збудуємо психофізичну шкалу оцінювання (табл. 5), яка містить дві колонки, що відповідають вихідним параметрам  $v_1$  та  $v_2$ .

Оцінімо стан об'єкта, наприклад, відповідно до другого рядка ортогональної матриці (табл. 4):  $v_{1,2} = 1,4$ ;  $v_{2,2} = 6$ . За допомогою (9) і (10) знаходимо  $M_1 = 0,85$  та  $M_2 = 7,5$ . Враховуючи табл. 5, визначаємо, що в першому випадку оцінка  $M_1$  — «задовільно», а в другому випадку  $M_2$  — «дуже добре». Неадекватність цих оцінок говорить про те, що в першому випадку величи-

ну  $v_1$  синтезовано за даними пасивного експерименту й вона відповідає реальності, а в другому — величину  $v_2$  синтезовано на підставі помилкового інтуїтивного висновку дослідника.

## Висновки

Запропонований у статті спосіб побудови психофізичної шкали оцінювання стану досліджуваних об'єктів засновано на використанні розробленої процедури комп'ютерного пасивного (активного) УПФЕ.

Перевагою цього способу є те, що він може бути застосований не лише тоді, коли вихідний параметр є випадковою величиною з нормальним законом розподілу, а й за інших законах розподілу. Пояснюється це тим, що під час реалізації цього способу використовується відновлення залежності певного узагальненого вихідного параметра від аналізованих факторів. При цьому відомо, що якщо відновлення відбувається в доволі «вузькому» класі функцій, то незалежно від того, якою є природа завдання, тобто закон розподілу, помилка відновлення буде мінімальною [6]. У нашому прикладі для відновлення в класі поліноміальних функцій використовується лише одна лінійна функція, що відповідає зазначеній умові.

Недоліками способу є, по-перше, те, що для кожної конкретної задачі необхідно будувати окрему психофізичну шкалу, та, по-друге, наявна залежність від експертних лінгвістичних

Таблиця 3. Психофізична шкала оцінювання

№ п/п	Лінгвістичні оцінки (L)	Інтервал зміни функції $M = f(x)$
1	дуже добре (5)	$0 < M < 1,22$
2	добре (4)	$1,22 < M < 4,27$
3	задовільно (3)	$4,27 < M < 7$
4	погано (2)	$7 < M < 10$
5	дуже погано (1)	$10 < M < 12,2$

Таблиця 4. Ортогональна матриця активного УПФЕ

$m \setminus x$	$x_0^k$	$x_1^k$	$x_2^k$	$x_3^k$	$x_4^k$	$v_{1i}$	$v_{2i}$	$M_1$	$M_2$
1	+	+	+	—	—	1,5	26	1,5	26
2	+	—	—	—	—	1,4	6	1,4	6
3	+	+	—	—	+	0,7	19	0,7	19
4	+	—	+	—	+	0,5	12	0,5	12
5	+	+	+	+	+	1,8	47	1,8	47
6	+	—	—	+	+	0,4	11	0,4	11
7	+	+	—	+	—	1,3	23	1,3	23
8	+	—	+	+	—	0,8	12	0,8	14

оцінок її вузлових точок. Перший недолік не заслуговує на особливу увагу через простоту та доступність програмного забезпечення, що реалізує спосіб. Другий недолік вимагає усунення участі висококваліфікованих фахівців у

процесі «навчання шкали». Однак він цілком компенсується можливістю розв'язання задач оцінювання стану різних об'єктів, коли створюються інтелектуальні системи аналізу інформації з метою отримання нових знань.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Harrington E.C. The Desirability Function. *Industrial Quality Control*, 1965, N 21(10), P. 494–498.
2. Суровцев І.В., Бабак О.В., Галімова В.М. Методи оцінювання ступеня забруднення важкими металами ґрунтів при точному землеробстві. *УСМ*, 2019, № 4, С. 35–41.
3. Бабак О.В. Об одном принципе самоорганизации математических моделей. *Проблемы управления и информатики*, 2001, № 2, С. 98–107.
4. Бабак О.В. О синтезе математической модели объекта на основе мысленного эксперимента. *Кибернетика и вычислительная техника*, 1997, вып. 108, С. 76–83.
5. Адлер Ю.В., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 277 с.
6. Вапник В.И., Червоненкис А.Я. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей. М.: Наука, 1984. 816 с.

Надійшла 08.10.2019

## REFERENCES

1. Harrington E.C. The Desirability Function. *Industrial Quality Control*, 1965, no 21(10), P. 494–498. (In English).
2. Surovtsev, I.V., Babak, O.V., Galimova, V.M., 2019. “Metody otsinyuvannya stupenya zabrudnennya vazhkymy metalamy gruntiv pry tochnomu zemlerobstvi”. *Upravlyayushchiye sistemy i mashiny*, 4, P. 35–41.. (In Ukrainian).
3. Babak, O.V., 2001. “Ob odnom printsipe samoorganizatsii matematicheskikh modeley” [“About one principle of self-organization of mathematical models”]. *Problemy upravleniya i informatiki*, 2, P. 98–107. (In Russian).
4. Babak, O.V., 1997. “O sinteze matematicheskoy modeli ob”yekta na osnove myslennogo eksperimenta”. *Kibernetika i vychislitel’naya tekhnika*, Vyp. 108, P. 76–83. (in Russian).
5. Adler Yu.V., Markova E.V., Granovsky Y.V. Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimal’nykh usloviy. Planning an experiment when searching for optimal conditions. M.: Nauka. 1976. 277 p. (in Russian).
6. Vapnyk, V.I., Chervonenkys, A.Ya., 1984. *Algoritmy i programmy vosstanovleniya zavisimostey* [Algorithms and dependency recovery programs], Nauka, Moscow, Russia. (in Russian).

Received 08.10.2019

*I.V. Surovtsev*, Dr (Eng.), Senior Researcher,  
International Research and Training Centre  
of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine,  
Acad. Glushkov ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine,  
dep175@irtc.org.ua; igorsur52@gmail.com

*O.V. Babak*, PhD (Eng.), Senior Researcher,  
International Research and Training Centre  
of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine,  
Acad. Glushkov ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine,  
dep175@irtc.org.ua; babak@irtc.org.ua

*A.E. Tatarinov*, Researcher,  
International Research and Training Centre  
of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine,  
Acad. Glushkov ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine,  
dep175@irtc.org.ua; al.ed.tatarinov@gmail.com

V.M. Galimova, PhD in Chemistry, Associate Professor, Senior Lecturer,  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Heroiv Oborony Str.17, Kyiv, 03041, Ukraine,  
Galimova2201@gmail.com

## THE METHOD OF CONSTRUCTING A PSYCHOPHYSICAL SCALE FOR ASSESSING THE CONDITIONS OF THE STUDIED OBJECT

**Introduction.** When conducting research in various fields of science and technology, the experimenters have the important task of reducing the number of full-scale experiments. This important task can be solved by creating a psychophysical scale of the state of the object, similar to the E. Harrington scale, built on the basis of the law of normal distribution. However, this circumstance does not allow it to be used if the experimenter does not have knowledge of the distribution law of random variables characterizing the object under study.

**Purpose.** The purpose of the article is to create a method for constructing a psychophysical scale for assessing the states of an object under study, eliminating the need for knowledge of the distribution law of random variables characterizing this object.

**Methods.** To implement the psychophysical scale for assessing the state of an object is used a procedure called a computer passive (active) mental complete factor experiment (MCFE). In passive MCFE, which is characterized by the uncertainty and unpredictability of the estimation of the output parameter, the output parameter is a generalized parameter that determines the formal interrelation of factors. In the active MCFE, which is characterized by the certainty and predictability of the estimate of the output parameter, the output parameter is also a generalized parameter that reflects the informal interrelation of factors corresponding to the actual functioning of the object. To obtain a mathematical estimation model in both passive and active MCFE, the orthogonal matrix of the complete factor experiment is used.

**Results.** The developed evaluation method showed sufficient efficiency in processing data from a computer experiment. The advantage of this method is that it can be applied not only when the output parameter is a random variable with a normal distribution law, but also with other distribution laws.

**Conclusions.** The developed method can be used to solve the problems of assessing the state of various objects when creating intelligent systems for analyzing information of similar kind in order to obtain new knowledge.

**Keywords:** *mental complete factor experiment, response function, assessment, generalized parameter, mathematical model, psychophysical scale.*

И.В. Суворцев, д-р техн. наук, ст. научный сотрудник,  
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН  
и МОН Украины, просп. Акад. Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,  
dep175@irtc.org.ua; igorsur52@gmail.com

О.В. Бабак, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,  
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН  
и МОН Украины, просп. Акад. Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,  
dep175@irtc.org.ua; babak@irtc.org.ua

А.Э. Татаринев, научный сотрудник,  
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН  
и МОН Украины, просп. Акад. Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,  
dep175@irtc.org.ua; al.ed.tatarinov@gmail.com

В.М. Галимова, канд. химических наук, и.о. доцента,  
Нац. университет биоресурсов та природопользования Украины (НУБиП Украины),  
ул. Героев Обороны, 17, Киев, 03041, Украина,  
galimova2201@gmail.com



## СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ПСИХОФИЗИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА

**Введение.** При проведении исследований в самых различных областях науки и техники перед экспериментаторами возникает важная задача сокращения числа натурных экспериментов. Эту важную задачу можно решить путем создания психофизической шкалы состояния объекта, подобной шкале Э. Харрингтона, построенной на основе закона нормального распределения. Однако указанное обстоятельство не позволяет ее использовать в случае отсутствия знаний у экспериментатора о законе распределения случайных величин, характеризующих исследуемый объект.

**Цель статьи** — создание способа построения психофизической шкалы оценивания состояний исследуемого объекта, исключающего необходимость знания закона распределения случайных величин, характеризующих этот объект.

**Методы.** Для реализации психофизической шкалы оценивания состояния объекта применяется процедура, называемая компьютерным пассивным (активным) мысленным полным факторным экспериментом (МПФЭ). В пассивном МПФЭ, который характеризуется неопределенностью и непредсказуемостью оценки выходного параметра, им служит обобщенный параметр, определяющий формальную взаимосвязь факторов. В активном МПФЭ, который характеризуется определенностью и предсказуемостью оценки выходного параметра, выходным параметром также служит обобщенный параметр, отражающий неформальную взаимосвязь факторов, отвечающую реальному функционированию объекта. Для получения математической модели оценивания как в пассивном, так и в активном МПФЭ, используется ортогональная матрица полного факторного эксперимента.

**Результаты.** Разработанный способ оценки показал достаточную эффективность при обработке данных компьютерного эксперимента. Преимущество этого способа состоит в том, что он может быть применен не только тогда, когда выходной параметр является случайной величиной с нормальным законом распределения, но и при других законах распределения.

**Выводы.** Разработанный способ может быть использован для решения задач оценивания состояния самых различных объектов при создании интеллектуальных систем анализа информации подобного рода с целью получения новых знаний.

**Ключевые слова:** мысленный полный факторный эксперимент, функция отклика, оценивание, обобщенный параметр, математическая модель, психофизическая шкала.