

КРИЛИК Л. В.

Вінницький національний технічний університет  
<https://orcid.org/0000-0001-6642-754X>  
e-mail: [lyudmila.krylik@gmail.com](mailto:lyudmila.krylik@gmail.com)

ЄВСЄЄВА М. В.

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова  
<https://orcid.org/0000-0002-4570-2845>  
e-mail: [evseevamy359@gmail.com](mailto:evseevamy359@gmail.com)

## ЗАСТОСУВАННЯ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ В ПРОЦЕСІ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРА НА ЧУТЛИВІСТЬ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ

З метою оптимізації параметрів створення вологочутливого шару ємнісного сенсора вологості застосовано багатофакторний план експерименту в поєднанні з регресійним аналізом впливу фактора. Статистична обробка результатів факторного експерименту за критерієм Кохрена довела, що факторний експеримент є відтворюваним. Використовуючи матрицю планування повнофакторного експерименту розроблено рівняння регресії, на основі якого встановлено, що концентрація розчину солі, яку використано для створення вологочутливого шару, суттєво впливає на чутливість ємнісного сенсора вологості. За критерієм Ст'юдента встановлено, що всі коефіцієнти рівняння регресії є значимими. Як критерій оптимізації параметрів створення вологочутливого шару такого ємнісного сенсора вологості обрано чутливість. Остаточне рівняння регресії в масштабі реальних факторів дає змогу провести оптимізацію параметрів створення вологочутливого шару ємнісного сенсора вологості з максимальним значеннями функції відгуку – «чутливість». Встановлено, що найбільша чутливість 36,32 пФ/% забезпечується за таких оптимальних параметрів процесу створення вологочутливого шару: концентрації розчину солі, яка виконує функцію адсорбуючого матеріалу, а саме гігроскопічної солі NaCl – 5,33 моль/л і товщині вологочутливого шару 10,0 мкм.

Ключові слова: рівняння регресії, матриця планування, повнофакторний експеримент, фактор, відгук моделі, критерій Ст'юдента, критерій Кохрена.

Lyudmila KRYLIK

Vinnytsia National Technical University

Mariya EVSEVA

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya

## APPLICATION OF REGRESSION ANALYSIS DURING THE ASSESSMENT PROCESS OF FACTOR IMPACT ON THE SENSITIVITY OF THE CAPACITIVE HUMIDITY SENSOR

In order to optimize the parameters of creating a moisture-sensitive layer of the capacitive humidity sensor, a multifactorial experiment plan was used in combination with regression analysis of the factor influence. Capacitive humidity sensors are made on a sital substrate with size 0.7×0.9 mm, on the surface of which is applied a copper film, which forms the plates of the capacitive elements in the form of a meander with the appropriate geometry  $7.85 \cdot 10^{-2} \times 150 \cdot 10^{-6} \times 1.2 \cdot 10^{-6}$  m. Hygroscopic salt is a moisture-sensitive film that serves as a dielectric. Solutions of hygroscopic salt NaCl with concentrations 0.89 mol/l and 5.33 mol/l were used to create a moisture-sensitive film, which were applied to the surface of capacitive humidity sensors by spraying at a distance of 40–50 cm with thicknesses of 5.0 μm and 10.0 μm. Statistical processing of the results of the factor experiment by the Cochran test proved that the factor experiment is reproducible. Using the planning matrix of the full-factor experiment, a regression equation has been developed and on the basis of which it has been found that the concentration of salt solution used to create a moisture-sensitive layer significantly affects the sensitivity of the capacitive humidity sensor. According to Student criteria it has been established that all the coefficients of the regression equation are significant. Sensitivity has been chosen as criteria for parameters optimization of creation a moisture-sensitive layer of such a capacitive humidity sensor. The final regression equation on the scale of real factors makes it possible to optimize the parameters of creation a moisture-sensitive layer of the capacitive humidity sensor with the maximum values of the response function – "sensitivity". It has been found that the highest sensitivity of 36.32 pF/% is provided by the following optimal parameters of the process of creating a moisture-sensitive layer: the concentration of salt solution, which serves as an adsorbent material, namely hygroscopic salt NaCl – 5.33 mol/l and thickness of moisture-sensitive layer 10.0 μm.

Keywords: regression equation, planning matrix, full-factor experiment, factor, model response, Student test, Cochran test.

### Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Нині серед первинних перетворювачів різного типу особливе місце у вимірювальній техніці займають сенсори вологості. Необхідність контролю вологості в різноманітних галузях промислової індустрії, а також у побуті і те, що відносна вологість є фізичним параметром, який важко підлягає перетворенню в електричний сигнал, зробила актуальною проблему розроблення і дослідження різноманітних сенсорів вологості, принцип дії яких базується на зміні електрофізичних параметрів [1–6]. Крім того, від конструктивного рішення вологочутливих елементів, принципу їх дії та технології виготовлення суттєво залежить технічний рівень сенсорних систем. Розроблення нових вологочутливих елементів або вдосконалення існуючих потребує проведення значної кількості експериментальних досліджень. У ході експерименту одержують безліч даних, які потрібно структурувати та інтерпретувати для використання під час прийняття рішень стосовно структури та параметрів як вологочутливих елементів, так і вимірювальних систем. Для того, щоб правильно інтерпретувати отримані вихідні дані, потрібно планувати проведення експериментів. Планування експерименту широко використовується в різноманітних

галузях промисловості. Планування експерименту – це розроблення такого плану експерименту, який дозволяє за мінімальної кількості прогонів (кількість реалізацій) експерименту і за мінімальних затрат ресурсів зробити статистично ґрунтовні висновки або знайти оптимальні рішення стосовно структури розробки, або ж її функціонування [7–12].

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Теорія планування експерименту займається проблемами одержання найбільшої кількості інформації про реальний об'єкт при мінімальних затратах як комп'ютерного часу, так і часу дослідника. А спеціальні засоби планування експериментів дозволяють скласти ефективний план проведення експериментів, що забезпечує збір необхідної інформації для отримання обґрунтованих висновків при мінімальних затратах.

Крім того, плани експериментів поділяють на однофакторні та багатофакторні. На відмінну від *однофакторних* планів експериментів, які досліджують тільки вплив одного фактора на відгук моделі, *багатофакторні* плани експериментів будують з урахуванням сумісного впливу факторів на відгук моделі. Такі плани дозволяють досліджувати вплив як кожного фактора, так і вплив взаємодій різних факторів. Тобто, застосування багатофакторних планів сприяє детальному аналізу проведеного експерименту, а саме дає змогу визначити значення використовуваних факторів, а також їх вплив на характеристики та поведінку досліджуваного об'єкта, процесу. За своєю природою фактори поділяються на якісні та кількісні. Для кількісного оцінювання впливу факторів використовують *регресійний* аналіз [7–10, 12], а для якісного оцінювання впливу факторів – *дисперсійний* аналіз [11].

Метою регресійного аналізу є кількісне оцінювання впливу фактора. Цей тип аналізу дає змогу визначити, який з факторів спричиняє найбільший вплив, а який – найменший. Та як потрібно змінювати значення факторів, щоб досягти збільшення або зменшення значення відгуку моделі на задану величину [12].

Отже, розробка багатофакторного плану експерименту та практичне його застосування в поєднанні з регресійним аналізом впливу фактора нині є актуальною задачею.

### Постановка завдання

Метою роботи є оцінювання впливу на чутливість ємнісного сенсора вологості таких факторів:

- товщини вологочутливого шару;
- концентрації розчину солі, як адсорбуючого матеріалу.

Для досягнення поставленої мети у роботі потрібно вирішити такі задачі:

- 1) провести аналіз існуючих наукових джерел та обґрунтувати доцільність застосування багатофакторного плану експерименту;
- 2) розробити багатофакторний план експерименту на основі матриці планування;
- 3) використовуючи регресійний аналіз впливу фактора провести оцінювання впливу таких факторів: товщини вологочутливого шару; концентрації розчину солі, як адсорбуючого матеріалу на чутливість ємнісного сенсора вологості;
- 4) зробити висновки з проведених досліджень.

### Виклад основного матеріалу

При проведенні серії експериментів досліджувалась залежність чутливості ємнісного сенсора вологості від впливу таких факторів: товщини вологочутливого шару та концентрації розчину солі, як адсорбуючого матеріалу (гігроскопічна сіль NaCl).

Ємнісні сенсори вологості виготовлені на ситаловій підкладці розміром  $0,7 \times 0,9$  мм, на поверхні якої нанесена плівка міді, яка утворює обкладки ємнісних елементів у вигляді меандру з відповідною геометрією  $7,85 \cdot 10^{-2} \times 150 \cdot 10^{-6} \times 1,2 \cdot 10^{-6}$  м [4]. Вологочутливою плівкою, яка слугує діелектриком, є гігроскопічна сіль. Для створення вологочутливої плівки використовувались розчини гігроскопічної солі NaCl з концентраціями

0,89 моль/л та 5,33 моль/л, які наносились на поверхню ємнісних сенсорів вологості пульверизатором на відстані 40 – 50 см товщинами 5,0 мкм та 10,0 мкм.

Для проведення розрахунків приймемо такі позначення: фактор  $X_1$  – товщина вологочутливого шару  $d$ , мкм; фактор  $X_2$  – концентрація розчину солі NaCl, яка виконує функцію адсорбуючого матеріалу  $C$ , моль/л; відгук моделі  $y$  – чутливість ємнісного сенсора вологості  $S_C$ , пФ/%.

Тип експерименту – це число, яке дорівнює кількості експериментів в плані. Так, для двох факторів кількість експериментів буде  $2^2 = 4$ , тобто  $N = 4$ .

В результаті проведення повного факторного експерименту типу  $2^2$  при кількості прогонів  $p = 3$  отримані такі значення відгуку моделі  $y_{ij}$  (табл. 1):

Результати повного факторного експерименту типу  $2^2$ 

$X_1$	$X_2$	$y_{j1}$	$y_{j2}$	$y_{j3}$
5,0	0,89	5,2	4,8	6,7
10,0	0,89	6,1	5,0	7,5
5,0	5,33	10,1	16,2	25,3
10,0	5,33	32,5	28,1	49,0

Перейдемо до статистичної обробки результатів факторного експерименту. На початку статистичної обробки виконують оцінку *відтворюваності* експерименту за критерієм Кохрена. Для цього розраховують значення дисперсії у кожному експерименті  $D_j$ , сумарне  $D_\Sigma$  та максимальне  $D_{\max}$  значення дисперсії за такими формулами [12]:

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^p (y_{ij} - y_j)^2}{p-1}, \quad (1)$$

де  $y_{ij}$  –  $i$ -е спостереження відгуку моделі в  $j$ -му експерименті;

$$D_\Sigma = \sum_{j=1}^N D_j, \quad (2)$$

$$D_{\max} = \max_j D_j. \quad (3)$$

Потім обчислюють спостережуване значення критерію Кохрена:

$$G = \frac{D_{\max}}{D_\Sigma}. \quad (4)$$

Середні значення відгуку моделі обчислюють, використовуючи дані табл. 1 за такою формулою:

$$y_j = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p y_{ji}. \quad (5)$$

Спостережуване значення критерію Кохрена обчислимо за формулами (1) – (4):

– максимальне значення дисперсії:

$$D_{\max} = 121,4;$$

– сумарне значення дисперсії:

$$D_\Sigma = 182,48;$$

– спостережуване значення критерію Кохрена:

$$G \approx 0,665.$$

Перейдемо до визначення табличного значення критерію Кохрена  $G_{кр}$ . При рівні значимості  $\alpha = 0,05$ , кількості ступенів вільності  $m = p - 1 = 3 - 1 = 2$ , маємо  $G_{кр} = 0,768$ . Оскільки  $0,665 < 0,768$ , тобто  $G < G_{кр}$ , то факторний експеримент є відтворюваним і величина

$$D = \frac{1}{N} \sum_j D_j \quad (6)$$

є оцінкою дисперсії генеральної сукупності, тобто  $D = 45,62$ .

При проведенні експериментів за багатофакторним планом спочатку перетворюють вхідні змінні  $X_i$ , що змінюються в межах  $(X_{i\min}, X_{i\max})$ , в нові змінні  $x_i$ , що змінюються в межах  $(-1, +1)$  за формулою [12]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta_i}, \quad (7)$$

де  $X_{i0} = \frac{X_{i\max} + X_{i\min}}{2}$ ,  $\Delta_i = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{2}$ .

Область проведення експериментів (табл. 1)  $X_1 \in (5,0; 10,0)$ ,  $X_2 \in (0,89; 5,33)$ .

Перетворимо за формулами (7) початкові змінні в допоміжні, які змінюються в області  $(-1; 1)$ :

$$x_1 = \frac{X_1 - 7,5}{2,5}, \quad x_2 = \frac{X_2 - 3,11}{2,22}. \quad (8)$$

Складемо матрицю планування повнофакторного експерименту (ПФЕ) (табл. 2) та визначимо коефіцієнти рівняння регресії.

Матриця планування ПФЕ

$2^2$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$y_j$
1	+	-	-	+	5,57
2	+	+	-	-	6,2
3	+	-	+	-	17,2
4	+	+	+	+	36,53

Плануванню факторного експерименту типу  $2^2$  відповідає рівняння регресії в загальному вигляді:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2.$$

Використовуючи дані матриці планування ПФЕ (табл. 2), визначимо коефіцієнти рівняння регресії за такими формулами [12]:

$$b_0 = \frac{\sum y_i}{N}, \quad b_k = \frac{\sum y_i x_{ik}}{N}, \quad k = 1, \dots, N-1. \quad (9)$$

Коефіцієнти рівняння регресії набувають таких значень:

$$b_0 = 16,38; \quad b_1 = 4,99; \quad b_2 = 10,49; \quad b_3 = 4,68.$$

З врахуванням отриманих значень коефіцієнтів, рівняння регресії має вигляд:

$$y = 16,38 + 4,99x_1 + 10,49x_2 + 4,68x_1x_2. \quad (10)$$

Отже, аналізуючи отримане рівняння регресії, можна зробити висновок про те, що фактор  $x_2$  спричиняє на відгук моделі набагато більший вплив, ніж фактор  $x_1$  або  $x_1x_2$ . Тобто концентрація розчину солі NaCl, яка використовувалась для створення вологочутливого шару суттєво впливає на чутливість емнісного сенсора вологості. Отримане рівняння регресії можна використовувати для наближених розрахунків відгуку моделі в області проведення експериментів.

Зважаючи на те, що експеримент є відтворюваним перейдемо до наступного етапу статистичної обробки результатів.

На цьому етапі оцінюють значимість коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм Ст'юдента. Спостережуване значення критерію Ст'юдента знаходять за формулою [12]:

$$t_j = |b_j| \sqrt{\frac{N \cdot P}{D}}, \quad (11)$$

При рівні значимості  $\alpha = 0,05$ , числі ступенів вільності  $m = N \cdot (p-1) = 4 \cdot (3-1) = 8$ , маємо табличне значення критерію Ст'юдента  $t_{кр} = 2,31$ .

Оцінюємо значимість коефіцієнтів  $b_j$  за формулою (11):

$$t_0 = 8,4 > t_{кр} = 2,31 \rightarrow b_0 \text{ є значимим};$$

$$t_1 = 2,56 > t_{кр} = 2,31 \rightarrow b_1 \text{ є значимим};$$

$$t_2 = 5,38 > t_{кр} = 2,31 \rightarrow b_2 \text{ є значимим};$$

$$t_3 = 2,4 > t_{кр} = 2,31 \rightarrow b_3 \text{ є значимим}.$$

Зважаючи на те, що всі коефіцієнти рівняння регресії є значимими, то наступний етап статистичної обробки результатів факторного експерименту не виконують, і вважають обробку результатів закінченою.

Перейдемо до розкодування рівняння регресії, яке отримали в результаті обробки результатів ПФЕ. Фактори  $x_1$ ,  $x_2$  входять до рівняння регресії у кодованому вигляді, щоб одержати рівняння в натуральному масштабі, потрібно скористатися обчисленими виразами (8). Підставимо ці вирази переходу до кодованих факторів у рівняння регресії (10), яке отримали на основі поточних розрахунків. У результаті отримаємо остаточне рівняння регресії в масштабі реальних факторів, яке має такий вигляд:

$$y = 6,38 - 0,63X_1 - 1,60X_2 + 0,84X_1X_2. \quad (12)$$

Отримане остаточне рівняння регресії в масштабі реальних факторів (12) дає змогу провести оптимізацію параметрів створення вологочутливого шару емнісного сенсора вологості з максимальним значеннями функції відгуку – «чутливість». Як критерій оптимізації параметрів створення вологочутливого шару такого емнісного сенсора вологості обрано чутливість. З експериментів видно, що чутливість емнісного сенсора вологості залежить від таких факторів як товщина вологочутливого шару та концентрації розчину солі NaCl, яка виконує функцію адсорбуючого матеріалу. Однак, суттєвий вплив на чутливість емнісного сенсора вологості має концентрація розчину гігроскопічної солі NaCl. Встановлено, що найбільша чутливість 36,32 пФ/% забезпечується при таких оптимальних параметрах процесу створення вологочутливого шару: концентрації адсорбуючого матеріалу – 5,33 моль/л і товщині вологочутливого шару 10,0 мкм.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі**

1. Встановлено, що метрологічні характеристики вологочутливих елементів визначаються насамперед фізико-хімічними та адсорбційними властивостями використаного сорбенту. Нині в промисловості та наукових дослідженнях використовуються технологічні процеси, які вимагають високоточного контролю відносної вологості середовища і висувають високі вимоги до якості вологочутливих елементів. Тому, з метою оптимізації параметрів створення вологочутливого шару ємнісного сенсора вологості, застосовано метод планування багатofакторного експерименту в поєднанні з регресійним аналізом впливу фактора. В результаті отримано рівняння регресії, яке описує залежність цільової функції «чутливість» від таких параметрів впливу – товщина вологочутливого шару та концентрація розчину солі NaCl, яка виконує функцію адсорбуючого матеріалу. Доведено, що концентрація розчину солі NaCl, яка використовувалась для створення вологочутливого шару має більший вплив на чутливість ємнісного сенсора вологості ніж товщина цього шару. Отримане рівняння регресії можна використовувати для наближених розрахунків відгуку моделі в області проведення експериментів.

2. В результаті розкодування рівняння регресії отримано остаточне рівняння регресії в масштабі реальних факторів. Рівняння регресії в масштабі реальних факторів дає змогу провести оптимізацію параметрів створення вологочутливого шару ємнісного сенсора вологості з максимальним значеннями функції відгуку – «чутливість». Найбільша чутливість 36,32 пФ/% забезпечується при таких оптимальних параметрах процесу створення вологочутливого шару: концентрації розчину адсорбуючого матеріалу, а саме гігроскопічної солі NaCl – 5,33 моль/л і товщині вологочутливого шару 10,0 мкм.

3. В подальших дослідженнях планується застосувати метод планування багатofакторного експерименту для того, щоб дослідити як зміниться чутливість ємнісного сенсора вологості при створенні двошарової структура, нижнім шаром, якої є гігроскопічна сіль, а верхнім – полімер.

**Література**

1. Готра З. Ю. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. Том 2 / З. Ю. Готра. – Львів : Ліга-Прес, 2003. – 595 с.
2. Осадчук В. С. Сенсори вологості / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2003. – 208 с.
3. Осадчук В. С. Дослідження резистивних вологочутливих елементів / В. С. Осадчук, Л. В. Крилик // Вісник ВПІ. – 2001. – № 6. – С. 148–152.
4. Осадчук В. С. Дослідження ємнісних вологочутливих елементів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Вісник ВПІ. – 2002. – № 5. – С. 65–71.
5. Осадчук В. С. Ємнісний сенсор вологості гребінцевої структури на основі полімерних матеріалів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. Міжнародний науково-технічний журнал. – 2006. – № 2(12). – С. 222–227.
6. Осадчук О. В. Ємнісні сенсори вологості на основі стибій або бісмутвмісних діоксидів ніколу (II) / О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 1(221). – С. 131–135.
7. Ляшок А. В. Планування багатofакторного експерименту при дослідженні процесу ультразвукового розпилення в тонкому шарі / А. В. Ляшок // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2013. – № 3. – С. 13–17.
8. Павлюк К. В. Методичні підходи до розроблення нормативів і оцінки науково-дослідної праці на основі багатofакторного кореляційно-регресійного аналізу / К. В. Павлюк // Наукові праці НДФІ. – 2020. – № 3(92). – С. 5–19.
9. Аксьончиков С. О. Регресійний аналіз тенденцій розвитку кібератак / С. О. Аксьончиков, І. В. Ємельянова, К. Д. Маркова, І. І. Сватовський // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Мат. моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. – 2017. – Вип. 36. – С. 5–13.
10. Кучернюк П. В. Модель загроз безпеки в інформаційно-комунікаційних системах на основі регресійного аналізу / П. В. Кучернюк, А. О. Довгаль // Інформаційні та телекомунікаційні системи та технології, захист інформації. – 2017. – Вип. 22, № 2. – С. 79–84.
11. Самарець Н. М. Використання інформаційних технологій у статистичному аналізі даних для аграрних підприємств / Н. М. Самарець, Є. М. Харченко, Н. О. Чорна // АГРОСВІТ. – 2013. – № 20. – С. 14–20.
12. Стеценко І. В. Моделювання систем / І. В. Стеценко. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.

**References**

1. Hotra Z. Yu. Mikroelektronni sensory fizychnykh velychyn. Tom 2 / Z. Yu. Hotra. – Lviv : Liha-Pris, 2003. – 595 s.
2. Osadchuk V. S. Sensory volohosti / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk. – Vinnytsia : UNIVERSUM – Vinnytsia, 2003. – 208 s.
3. Osadchuk V. S. Doslidzhennia rezystyvnykh volohochutlyvykh elementiv / V. S. Osadchuk, L. V. Krylyk // Visnyk VPI. – 2001. – № 6. – S.148–152.

4. Osadchuk V. S. Doslidzhennia yemnisnykh volohochutlyvykh elementiv / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // *Visnyk VPI*. – 2002. – № 5. – S. 65–71.
5. Osadchuk V. S. Yemnisnyi sensor volohosti hrebintsevoi struktury na osnovi polimerykh materialiv / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal*. – 2006. – № 2(12). – S. 222–227.
6. Osadchuk O. V. Yemnisni sensory volohosti na osnovi stybii abo bismutvmsnykh dioksymativ nikolu (II) / O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // *Herald of Khmelnytskyi National University*. – 2015. – № 1(221). – S. 131–135.
7. Liashok A. V. Planuvannia bahatofaktornoho eksperymentu pry doslidzhenni protsesu ultrazvukovoho rozpylennia v tonkomu shari / A. V. Liashok // *Visnyk NTUU «KPI». Serii mashynobuduvannia*. – 2013. – № 3. – S. 13–17.
8. Pavliuk K. V. Metodychni pidkhody do rozroblennia normatyviv i otsinky naukovo-doslidnoi pratsi na osnovi bahatofaktornoho koreliatsiino-rehresiinoho analizu / K. V. Pavliuk // *Naukovi pratsi NDFI*. – 2020. – № 3(92). – S. 5–19.
9. Aksonchykov S. O. Rehresiinyi analiz tendentsii rozvytku kiberatak / S. O. Aksonchykov, I. V. Yemelianova, K. D. Markova, I. I. Svatovskiy // *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Serii: Mat. modeliuvannia. Informatsiini tekhnolohii. Avtomatyzovani systemy upravlinnia*. – 2017. – vyp. 36. – S. 5–13.
10. Kucherniuk P. V. Model zahroz bezpeky v informatsiino-komunikatsiinykh systemakh na osnovi rehresiinoho analizu / P. V. Kucherniuk, A. O. Dovhal // *Informatsiini ta telekomunikatsiini systemy ta tekhnolohii, zakhyst informatsii*. – 2017. – vyp. 22, №2. – S. 79–84.
11. Samarets N. M. Vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii u statystychnomu analizi danykh dlia ahrarnykh pidpriemstv / N. M. Samarets, Ye. M. Kharchenko, N. O. Chorna // *AHROSVIT*. – 2013. – № 20. – S. 14–20.
12. Stetsenko I. V. Modeliuvannia system / I. V. Stetsenko. – Cherkasy : ChDTU, 2010. – 399 s.

Рецензія/Peer review : 12.07.2022 р.

Надрукована/Printed :02.08.2022 р.