

КРИЛИК ЛЮДМИЛА

Вінницький національний технічний університет

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

## ВИЗНАЧЕННЯ ЯКІСНОГО ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ЧУТЛИВІСТЬ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ ДВОШАРОВОЇ СТРУКТУРИ, ОСНОВАНОГО НА БАГАТОФАКТОРНОМУ ДИСПЕРСІЙНОМУ АНАЛІЗІ

Застосовано багатofакторний дисперсійний аналіз з метою якісного оцінювання впливу таких факторів: товщина вологочутливого шару; товщина полімерного покриття як захисного шару; концентрація розчину солі NaCl як адсорбуючого матеріалу та їх сумісний вплив на чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури. Розроблено багатofакторний план для випадку трьох якісних факторів. Використовуючи багатofакторний дисперсійний аналіз, доведено, що на відгук моделі, тобто на чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури, впливають фактори: товщина захисного шару, концентрація розчину солі NaCl, а також сумісний вплив таких факторів: товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі; товщина захисного шару + концентрація розчину солі, тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана зі зміною значення фактора і не може бути спричинена тільки її випадковим характером. Однак, суттєво впливає на відгук моделі сумісний вплив фактора – товщина захисного шару + концентрація розчину солі. В цьому випадку значення критерію Фішера, яке спостерігається в експерименті, значно перевищує критичне значення критерію Фішера  $F > F_{кр}$  (13,01 > 4,49). Вплив таких факторів: товщина вологочутливого шару; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі є несуттєвим, тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана з випадковим її характером. Використовуючи дисперсійний аналіз впливу фактора доведено, що на чутливість ємнісних сенсорів вологості впливає не тільки концентрація розчину солі NaCl, яка використовувалась для створення вологочутливого шару, але й конструктивне виконання сенсора.

Ключові слова: багатofакторний дисперсійний аналіз, фактор, відгук моделі, критерій Фішера, чутливість, ємнісний сенсор вологості.

KRYLIK LYUDMILA

Vinnytsia National Technical University

## DETERMINATION OF THE QUALITATIVE INFLUENCE OF FACTORS ON THE SENSITIVITY OF THE CAPACITIVE HUMIDITY SENSOR OF A TWO-LAYER STRUCTURE BASED ON MULTIFACTOR DISPERSION ANALYSIS

A multifactorial dispersion analysis was applied in order to qualitatively assess the influence of the following factors: thickness of the moisture-sensitive layer; the thickness of the polymer coating as a protective layer; the concentration of the NaCl salt solution as an adsorbent material and their combined effect on the sensitivity of the capacitive humidity sensor of the two-layer structure. Capacitive humidity sensors of a two-layer structure, made on a sital substrate, served as experimental samples. The copper film, which forms the covers of the capacitive humidity sensors, is applied to the surface of the sital substrate in the form of a meander. In the developed design, the moisture-sensitive layer is hygroscopic salt, which performs the function of a dielectric. A moisture-absorbing film of polymethylmethacrylate serves as a protective layer. A multifactorial plan is developed for the case of three qualitative factors. Using multifactorial dispersion analysis, it was proved that the response of the model, that is, the sensitivity of the capacitive humidity sensor of the two-layer structure, is influenced by such factors as the thickness of the protective layer, the concentration of the NaCl salt solution, as well as the combined effect of factors such as the thickness of the moisture-sensitive layer + the concentration of the salt solution; the thickness of the protective layer + concentration of the salt solution. That is, the difference in the response values of the model is related to the change in the value of the factor and cannot be caused only by its random nature. However, the response of the model is significantly affected by the combined effect of the factor – the thickness of the protective layer + the concentration of the salt solution. In this case, the value of Fisher's criterion, which is observed in the experiment, significantly exceeds the critical value of Fisher's criterion  $F > F_{cr}$  (13.01 > 4.49). The influence of such factors as the thickness of the moisture-sensitive layer; the thickness of the moisture-sensitive layer + the thickness of the protective layer; the thickness of the moisture-sensitive layer + the thickness of the protective layer + the concentration of the salt solution is insignificant, that is, the difference in the response values of the model is due to its random nature. Using the dispersion analysis of the influence of the factor, it was proved that the sensitivity of capacitive humidity sensors is affected not only by the concentration of the NaCl salt solution, which was used to create a moisture-sensitive layer, but also by the design of the sensor.

Keywords: multifactorial dispersion analysis, factor, model response, Fisher's criterion, sensitivity, capacitive humidity sensor.

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Натепер серед первинних перетворювачів різного типу особливе місце у вимірювальній техніці займають сенсори вологості. Необхідність контролю вологості у промисловості, а також у побуті робить актуальною проблему розроблення та дослідження сенсорів вологості різних типів, принцип дії яких базується на зміні електрофізичних параметрів. Водночас, сучасний стан науки і техніки висуває підвищені вимоги до засобів вимірювання вологості, які пов'язанні з автоматизацією технологічних процесів. Питання вивчення, розроблення та виробництва засобів вимірювання вологості є актуальним, оскільки перетворення рівня вологості в електричний сигнал відомими вимірювальними засобами ускладнене [1–4].

Використання первинних перетворювачів вологості в частотних пристроях, в яких вологість перетворюється у частоту, дозволяє значно підвищити чутливість, точність вимірювання вологості, спростити схеми подальшої обробки інформації. В цьому випадку необхідно використовувати вологочутливий елемент у вигляді ємності, який є найоптимальнішим за сукупністю параметрів [2, 5, 6].

Крім того, застосування методів математичної статистики як інструменту дослідницької роботи суттєво сприятиме як систематизації, так і обробленню та аналізу експериментальних даних [7–16].

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Технічний рівень сучасних сенсорних систем залежить як від конструктивного, так від технологічного виконання сенсорів фізичних величин та принципу їх дії. Крім того, створення нових чутливих елементів або вдосконалення існуючих потребує як проведення численних експериментальних досліджень, так і оброблення та аналізу результатів досліджень – експериментальних даних, ефективність та достовірність яких залежить від обраного метода математичної статистики. Нині, методи математичної статистики, до яких відносять: статистичні ряди розподілу, оцінювання параметрів розподілу, закони розподілу вибіркового характеру, дисперсійний, регресійний, кореляційно-регресійний аналіз тощо, широко застосовуються в різноманітних галузях промислової індустрії.

Регресійний аналіз кількісно здійснює оцінювання впливу фактора на відгук моделі, тобто забезпечує оптимізацію параметрів фактора [7, 9–12, 16]. А дисперсійний аналіз спрямований на визначення впливу фактора на відгук моделі на рівні «впливає» або «не впливає», тобто дисперсійний аналіз сприяє визначенню значущих факторів моделі. Крім того, щоб проаналізувати експеримент всебічно і зробити статистично ґрунтовні висновки або знайти оптимальні рішення, доцільно застосовувати експерименти за багатофакторними планами з урахуванням сумісного впливу факторів [8, 13–16].

Отже, розробка багатофакторного плану експерименту у випадку якісних факторів натепер актуальна.

### Постановка завдання

Метою роботи є оцінювання, за допомогою багатофакторного дисперсійного аналізу, якісного впливу на чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури таких факторів:

- товщина вологочутливого шару;
- товщина полімерного покриття, як захисного шару;
- концентрація розчину солі як адсорбуючого матеріалу;
- сумісного впливу: товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі; товщина захисного шару + концентрація розчину солі; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі.

Для досягнення поставленої мети у роботі потрібно вирішити такі задачі:

- 1) провести аналіз наукових джерел та обґрунтувати доцільність застосування багатофакторного експерименту у випадку трьох якісних факторів;
- 2) розробити багатофакторний план експерименту у випадку трьох якісних факторів;
- 3) використовуючи дисперсійний аналіз впливу фактора провести оцінювання впливу таких факторів: товщина вологочутливого шару; товщина захисного шару; концентрація розчину солі (гігроскопічна сіль NaCl) та сумісного впливу: товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі; товщина захисного шару + концентрація розчину солі; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі.
- 4) зробити висновки з проведених досліджень.

### Виклад основного матеріалу

Досліджувалась залежність чутливості ємнісних сенсорів вологості двошарової структури від впливу таких факторів: товщина вологочутливого шару; товщина захисного шару; концентрація розчину солі (гігроскопічна сіль NaCl) та сумісного впливу: товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі; товщина захисного шару + концентрація розчину солі; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі. Захисний шар створено з метою запобігання випадіння точки роси [3, 4].

Експериментальними зразками слугували ємнісні сенсори вологості двошарової структури (м. Вінниця, Україна, ВНТУ), які виготовлені на ситаловій підкладці розміром 0,7×0,9 мм. Плівка міді, яка утворює обкладинку ємнісних сенсорів вологості, нанесена на поверхню ситалової підкладки у вигляді меандра. В розробленій конструкції вологочутливим шаром є гігроскопічна сіль NaCl, яка виконує функцію діелектрика. 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 товщинами 5,0 мкм та 10,0 мкм. Захисним шаром слугувала вологопоглинальна плівка поліметилметакрилату товщинами 40 мкм та 80 мкм.

Для розрахунків використаємо такі позначення: фактор  $A$  – товщина вологочутливого шару  $d_{ВШ}$ , мкм;  $A_1$  – нижній рівень фактора  $A$ ;  $A_2$  – верхній рівень фактора  $A$ ; фактор  $B$  – товщина захисного шару

$d_{3III}$ , мкм;  $B_1$  – нижній рівень фактора  $B$ ;  $B_2$  – верхній рівень фактора  $B$ ; фактор  $C$  – концентрація розчину солі NaCl, яка виконує функцію адсорбуючого матеріалу  $C$ , моль/л;  $C_1$  – нижній рівень фактора  $C$ ;  $C_2$  – верхній рівень фактора  $C$ ;  $AB$  – сумісний вплив фактора  $A$  та фактора  $B$ ;  $AC$  – сумісний вплив фактора  $A$  та фактора  $C$ ;  $BC$  – сумісний вплив фактора  $B$  та фактора  $C$ ;  $ABC$  – сумісний вплив факторів  $A$ ,  $B$  та  $C$ ; відгук моделі  $y$  – чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури  $S_C$ , нФ/%.

Проведемо оцінювання впливу факторів  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  та  $ABC$  на чутливість ємнісного сенсора вологості. В табл. 1 надано результати факторного експерименту.

Таблиця 1

## Результати факторного експерименту

	$d_{BIII} = 5,0$ мкм	$d_{BIII} = 10,0$ мкм	$d_{3III} = 40,0$ мкм	$d_{3III} = 80,0$ мкм
$C = 0,89$ моль/л	0,38; 0,48; 0,54	0,75; 0,86; 0,91	0,42; 0,53; 0,6	0,83; 0,95; 1,25
$C = 5,33$ моль/л	0,57; 0,62; 0,75	0,97; 1,78; 2,82	0,68; 0,78; 0,82	1,89; 2,95; 3,78

Кожний фактор має два рівня, тобто  $q=2$  та дванадцять прогонів, тобто  $p=12$ . В табл. 2 подано результати експериментів, які відповідають багатофакторному плану у випадку трьох якісних факторів.

Таблиця 2

## Результати багатофакторного плану у випадку трьох якісних факторів

$2^3$	$A_1$		$A_2$		Дисперсійний аналіз	
	$C_1$	$C_2$	$C_1$	$C_2$	дисперсія	кількість ступенів вільності
$B_1$	0,38; 0,48; 0,54	0,75; 0,86; 0,91	0,42; 0,53; 0,6	0,83; 0,95; 1,25	фактор $A$ фактор $B$ фактор $C$ фактор $AB$ фактор $AC$	1 1 1 1 1
$B_2$	0,57; 0,62; 0,75	0,97; 1,78; 2,82	0,68; 0,78; 0,82	1,89; 2,95; 3,78	фактор $BC$ фактор $ABC$ залишкова	1 1 23-7=16
	$p = 12$		$N_{np} = 24$		загальна	24-1=23

З метою оцінювання впливу факторів на відгук моделі, проведемо багатофакторний дисперсійний аналіз.

Значення факторної дисперсії  $S_{факт}$ , залишкової дисперсії  $S_{залиш}$  обчислюють за такими формулами [16]:

$$S_{факт} = p \cdot \sum_{j=1}^2 (\bar{y}_j - \bar{y})^2, \quad (1)$$

$$S_{залиш} = \sum_{i=1}^p (y_{i1} - \bar{y}_1)^2 + \sum_{i=1}^p (y_{i2} - \bar{y}_2)^2, \quad (2)$$

де  $y_j$  – спостереження відгуку моделі в  $j$ -му експерименті;

$y_{i1}$ ,  $y_{i2}$  –  $i$ -е спостереження відгуку моделі нижнього та верхнього рівня факторів.

За формулами (3) обчислюються середні значення спостережень [16]:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p y_{ij}, \quad \bar{y} = \sum_{j=1}^2 \bar{y}_j. \quad (3)$$

З врахуванням кількості ступенів вільності, факторна  $d_{факт}$  та залишкова дисперсії  $d_{залиш}$  обчислюються за формулами [16]:

$$d_{факт} = S_{факт}, \quad d_{залиш} = \frac{S_{залиш}}{2 \cdot (p-1)}. \quad (4)$$

У формулах (4) в знаменнику виразу стоїть кількість ступенів вільності. За величиною критерію Фішера проводять порівняння факторної та залишкової дисперсії, які спостерігаються в експерименті [16]:

$$F = \frac{d_{факт}}{d_{залиш}}. \quad (5)$$

Оцінювання впливу факторів  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $AB$ ,  $AC$ ,  $BC$  та  $ABC$  за дисперсійним аналізом будемо проводити за виразами (1)–(5). Результати обчислень за формулами (1)–(5) подано в табл. 3.

Таблиця 3

**Результати оцінювання впливу факторів за дисперсійним аналізом**

Фактори							
$A$		$B$		$C$		$AB$	
$\overline{y_{A_1}}$	0,95	$\overline{y_{B_1}}$	0,71	$\overline{y_{C_1}}$	0,6	$\overline{y_{AB_1}}$	1,66
$\overline{y_{A_2}}$	1,29	$\overline{y_{B_2}}$	1,53	$\overline{y_{C_2}}$	1,65	$\overline{y_{AB_2}}$	2,82
$\overline{y_A}$	1,12	$\overline{y_B}$	1,12	$\overline{y_C}$	1,13	$\overline{y_{AB}}$	2,24
$S_{факт}$	0,6936	$S_{факт}$	4,0344	$S_{факт}$	6,6156	$S_{факт}$	8,0736
$S_{залиш}$	17,5513	$S_{залиш}$	14,1429	$S_{залиш}$	11,6515	$S_{залиш}$	31,6942
$d_{факт}$	0,6936	$d_{факт}$	4,0344	$d_{факт}$	6,6156	$d_{факт}$	8,0736
$d_{залиш}$	1,1	$d_{залиш}$	0,8839	$d_{залиш}$	0,7282	$d_{залиш}$	2,0
$F$	0,63	$F$	4,56	$F$	9,08	$F$	4,04
$F_{кр}$	4,49	$F_{кр}$	4,49	$F_{кр}$	4,49	$F_{кр}$	4,49
Фактори							
$AC$		$BC$		$ABC$			
$\overline{y_{AC_1}}$	1,55	$\overline{y_{BC_1}}$	1,31	$\overline{y_{ABC_1}}$	1,24		
$\overline{y_{AC_2}}$	2,94	$\overline{y_{BC_2}}$	3,18	$\overline{y_{ABC_2}}$	1,01		
$\overline{y_{AC}}$	2,25	$\overline{y_{BC}}$	2,25	$\overline{y_{ABC}}$	1,13		
$S_{факт}$	11,5932	$S_{факт}$	20,982	$S_{факт}$	0,318		
$S_{залиш}$	29,2028	$S_{залиш}$	25,7944	$S_{залиш}$	17,9245		
$d_{факт}$	11,5932	$d_{факт}$	20,982	$d_{факт}$	0,318		
$d_{залиш}$	1,8252	$d_{залиш}$	1,6122	$d_{залиш}$	1,1203		
$F$	6,35	$F$	13,01	$F$	0,28		
$F_{кр}$	4,49	$F_{кр}$	4,49	$F_{кр}$	4,49		

Потрібно зазначити, що в знаменнику залишкової дисперсії (4) стоїть кількість ступенів вільності 16, а не 22, як в однофакторному дисперсійному аналізі.

Порівняння факторної та залишкової дисперсії проводилось за величиною критерію Фішера. Отже, використовуючи багатофакторний дисперсійний аналіз доведено, що на відгук моделі, тобто на чутливість емнісного сенсора вологості двошарової структури впливають: фактор  $B$  – товщина захисного шару,  $F > F_{кр}$  (4,56>4,49); фактор  $C$  – концентрація розчину солі NaCl,  $F > F_{кр}$  (9,08>4,49), а також сумісний вплив факторів  $AC$  – товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі,  $F > F_{кр}$  (6,35>4,49) і факторів  $BC$  – товщина захисного шару + концентрація розчину солі,  $F > F_{кр}$  (13,01>4,49), тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана зі зміною значення фактора і не може бути спричинена тільки її випадковим характером. Однак, суттєво впливає на відгук моделі сумісний вплив факторів  $BC$ , а саме товщина захисного шару + концентрація розчину солі. В цьому випадку значення критерію Фішера, яке спостерігається в експерименті, значно перевищує критичне значення критерію Фішера, в порівнянні з вище наведеними значеннями впливу факторів. Вплив факторів  $A$ ,  $AB$  і  $ABC$ , а саме, товщина вологочутливого шару, сумісного впливу: товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі є несуттєвим, тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана з випадковим її характером і не пов'язана зі зміною значення фактора ( $F < F_{кр}$ ).

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

1. Встановлено, що методи математичної статистики доцільно використовувати для систематизації, оброблення та аналізу експериментальних даних, ефективність та достовірність яких залежить від обраного метода математичної статистики. В науково-дослідній роботі регресійний аналіз забезпечує оптимізацію параметрів фактора, тобто кількісно здійснює оцінювання впливу фактора на відгук моделі. Дисперсійний аналіз сприяє визначенню значущих факторів моделі, тобто він визначає вплив фактора на відгук моделі на рівні «впливає» або «не впливає». Крім того, щоб проаналізувати експеримент всебічно і зробити

статистично ґрунтовні висновки або знайти оптимальні рішення, доцільно застосовувати експерименти за багатофакторними планами з урахуванням сумісного впливу факторів.

2. Розроблено багатофакторний план для випадку трьох якісних факторів. Використовуючи багатофакторний дисперсійний аналіз доведено, що на відгук моделі, тобто на чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури впливають фактори: товщина захисного шару, концентрація розчину солі NaCl, а також сумісний вплив таких факторів: товщина вологочутливого шару + концентрація розчину солі; товщина захисного шару + концентрація розчину солі. Тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана зі зміною значення фактора і не може бути спричинена тільки її випадковим характером. Однак, суттєво впливає на відгук моделі сумісний вплив фактора – товщина захисного шару + концентрація розчину солі. В цьому випадку значення критерію Фішера, яке спостерігається в експерименті значно перевищує критичне значення критерію Фішера  $F > F_{кр}$  (13,01 > 4,49). Вплив таких факторів: товщина вологочутливого шару; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару; товщина вологочутливого шару + товщина захисного шару + концентрація розчину солі є несуттєвим, тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана з випадковим її характером. Використовуючи дисперсійний аналіз впливу фактора доведено, що на чутливість ємнісних сенсорів вологості впливає не тільки концентрація розчину солі NaCl, яка використовувалась для створення вологочутливого шару, але й конструктивне виконання сенсора.

3. В подальших дослідженнях планується застосувати регресійний аналіз з метою оптимізації параметрів створення ємнісного сенсора вологості двошарової структури.

### Література

1. Готра З. Ю. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. Том 2 / З. Ю. Готра. – Львів : Ліґа-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 ємнісних вологочутливих елементів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Вісник ВПІ. – 2002. – № 5. – С. 65–71.
4. 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.
5. Осадчук О. В. Математична модель мікроелектронного автогенераторного засобу для вимірювання вологості / О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, О. С. Звягін, Я. О. Осадчук // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2021. – Т. 32(71), № 4. – С. 289–296.
6. Осадчук О. В. Математична модель параметричного перетворювача вологості з частотним виходом / О. В. Осадчук, Л. В. Крилик, Я. О. Осадчук // Прикладні питання математичного моделювання. – 2020. – № 2.1. – С. 206–215.
7. Крилик Л. В. Застосування регресійного аналізу в процесі оцінювання впливу фактора на чутливість ємнісного сенсора вологості / Л. В. Крилик, М. В. Євсєєва // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2022. – № 4(311). – С. 119–124.
8. Крилик Л. В. Застосування багатофакторного дисперсійного аналізу з метою якісного оцінювання впливу факторів на чутливість ємнісного сенсора вологості / Л. В. Крилик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2022. – № 5(313). – С. 122–127.
9. Ляшок А. В. Планування багатофакторного експерименту при дослідженні процесу ультразвукового розпилення в тонкому шарі / А. В. Ляшок // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2013. – № 3. – С. 13–17.
10. Павлюк К. В. Методичні підходи до розроблення нормативів і оцінки науково-дослідної праці на основі багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу / К. В. Павлюк // Наукові праці НДФІ. – 2020. – № 3(92). – С. 5–19.
11. Аксьончиков С. О. Регресійний аналіз тенденцій розвитку кібератак / С. О. Аксьончиков, І. В. Смелянова, 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.
12. 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.
13. 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.
14. Шуть О. Теоретико-методологічні аспекти статистичних досліджень / О. Шуть // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Економіка і управління». – 2012. – Вип. 22–21, Ч. 2. – С. 305–311.

15. Єріна А. М. Поєднання моделей регресійного і дисперсійного аналізу в соціально-економічних дослідженнях / А. М. Єріна // Наукові записки НаУКМА. Серія: Економічні науки. – 2000. – Том 18. – С. 12–17.

16. 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-Pres, 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 yemnisnykh volohochutlyvykh elementiv / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // Visnyk VPI. – 2002. – №5. – S. 65–71.
4. Osadchuk V. S. Yemnisnyi sensor volohosti hrebintsevoi struktury na osnovi polimernykh materialiv / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii. Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. – 2006. – №2(12). – S. 222–227.
5. Osadchuk O. V. Matematychna model mikroelektronnoho avtoheteratornoho zasobu dlia vymiriuvannia volohosti / O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, O. S. Zviahin, Ya. O. Osadchuk // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky. – 2021. – T. 32(71), № 4. – S. 289–296.
6. Osadchuk O. V. Matematychna model parametrychnoho peretvoriuvacha volohosti z chastotnym vykhodom / O. V. Osadchuk, L. V. Krylyk, Ya. O. Osadchuk // Prykladni pytannia matematychnoho modeliuvannia. – 2020. – T. 3, № 2.1. – S. 206–215.
7. Krylyk L. V. Zastosuvannia rehresiinoho analizu v protsesi otsiniuvannia vplyvu faktora na chutlyvist yemnisnoho sensora volohosti / L. V. Krylyk, M. V. Yevsieieva // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky. – 2022. – № 4(311). – S. 119–124.
8. Krylyk L. V. Zastosuvannia bahatofaktornoho dyspersiinoho analizu z metoiu yakisnoho otsiniuvannia vplyvu faktoriv na chutlyvist yemnisnoho sensora volohosti / L. V. Krylyk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky. – 2022. – № 5(313). – S. 122–127.
9. 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.
10. 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.
11. 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 tekhnologii. Avtomatyzovani systemy upravlinnia. – 2017. – Vyp. 36. – S. 5–13.
12. 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 tekhnologii, zakhyst informatsii. – 2017. – Vyp. 22, №2. – S. 79–84.
13. Samarets N. M. Vykorystannia informatsiinykh tekhnologii u statystychnomu analizi danykh dlia ahrarykh pidpryemstv / N. M. Samarets, Ye. M. Kharchenko, N. O. Chorna // AHROSVIT. – 2013. – № 20. – S. 14–20.
14. Shut O. Teoretyko-metodolohichni aspekty statystychnykh doslidzen / O. Shut // Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Serii «Ekonomika i upravlinnia». – 2012. – Vyp. 22–21, Ch. 2. – 305–311.
15. Yerina A. M. Poiednannia modelei rehresiinoho i dyspersiinoho analizu v sotsialno-ekonomichnykh doslidzhenniakh / A. M. Yerina // Naukovi zapysky NaUKMA. Serii: Ekonomichni nauky. – 2000. – Том 18. – S. 12–17.
16. Stetsenko I. V. Modeliuvannia system / I. V. Stetsenko. – Cherkasy : ChDTU, 2010. – 399 s.