

КРИЛИК ЛЮДМИЛА

Вінницький національний технічний університет

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

ОЦІНЮВАННЯ ЯКІСНОГО ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ЧУТЛИВІСТЬ ВОЛОГОЧУТЛИВОГО МДН-КОНДЕНСАТОРА НА ОСНОВІ АМОΡФНОГО СИЛІЦІЙ(IV) ОКСИДУ

В роботі застосовано багатофакторний дисперсійний аналіз для оцінювання якісного впливу факторів: товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду; діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду, а також їх сумісний вплив на чутливість вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду. Розроблено багатофакторний план для двох якісних факторів. З використанням багатофакторного дисперсійного аналізу доведено, що на відгук моделі, тобто на чутливість вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду впливає фактор – це діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду. В цьому випадку значення критерію Фішера, яке спостерігається в експерименті значно перевищує критичне значення критерію Фішера, а саме, $F > F_{кр}$ ($16,44 > 4,75$). Різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана тільки зі зміною значення фактора. Вплив таких факторів – це товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду + діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду є несуттєвим, тобто різниця в значеннях відгуку моделі обумовлена тільки випадковим характером ($F < F_{кр}$). На основі дисперсійного аналізу доведено, що на чутливість вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду впливає тільки розмір пор аморфного силіцій(IV) оксиду.

Ключові слова: багатофакторний дисперсійний аналіз, фактор, відгук моделі, критерій Фішера, чутливість, аморфний силіцій(IV) оксид, діаметр пор, пори, поруватий SiO_2 .

KRYLIK LYUDMILA

Vinnytsia National Technical University

ASSESSMENT OF THE QUALITATIVE INFLUENCE OF FACTORS ON THE SENSITIVITY OF MOISTURE SENSITIVE MDS CAPACITOR BASED ON AMORPHOUS SILICON(IV) OXIDE

The work uses multifactorial dispersion analysis to assess the qualitative influence of factors: the thickness of the moisture-sensitive amorphous silicon(IV) oxide layer; the diameter of the pores of moisture-sensitive amorphous silicon(IV) oxide, as well as their combined effect on the sensitivity of the moisture-sensitive MDS (metal-dielectric-semiconductor) capacitor based on amorphous silicon(IV) oxide. The experimental sample was a moisture-sensitive MDS capacitor, which is made on an n-type silicon plate with crystallographic orientation $\langle 100 \rangle$, on the lower side of which a highly doped n+ layer is created using high-temperature diffusion. Such a plate serves as the lower electrode of the structure. A SiO_2 film, which is the dielectric of this structure, is created on the planar side of the plate using the process of thermal oxidation. A porous SiO_2 film with a thickness of $1 \mu\text{m}$ is created on the surface of thermally oxidized SiO_2 by low-temperature oxidation in moist oxygen. A mesh aluminum electrode serves as the upper electrode of the structure. To create an ohmic contact, a thin layer of aluminum is sprayed on the reverse side of the plate. A multivariate plan was developed for two qualitative factors. With the use of multivariate dispersion analysis, it was proved that the response of the model, namely, the sensitivity of the moisture-sensitive MDS capacitor based on amorphous silicon(IV) oxide, is affected by the factor - the diameter of the pores of the moisture-sensitive amorphous silicon(IV) oxide. In this case, the value of Fisher's criterion observed in the experiment significantly exceeds the critical value of Fisher's criterion, namely, $F > F_{kr}$ ($16.44 > 4.75$). The difference in the response values of the model is related only to the change in the value of the factor. The influence of such factors is the thickness of the layer of moisture-sensitive amorphous silicon(IV) oxide, the combined effect: the thickness of the layer of moisture-sensitive amorphous silicon(IV) oxide + the diameter of the pores of moisture-sensitive amorphous silicon(IV) oxide is insignificant, that is, the difference in the response values of the model is due only to the random nature ($F < F_{kr}$). On the basis of dispersion analysis, it was proved that the sensitivity of the moisture-sensitive MDS capacitor based on amorphous silicon(IV) oxide is affected only by the size of the pores of amorphous silicon(IV) oxide.

Keywords: multifactorial dispersion analysis, factor, model response, Fisher's criterion, sensitivity, amorphous silicon(IV) oxide, pore diameter, pores, porous SiO_2 .

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

Нині вагомий інтерес викликає застосування напівпровідникових матеріалів властивості яких слугують основою для виготовлення сенсорів фізичних величин. До таких матеріалів відносять поруватий SiO_2 . Використання сучасних технологій мікроелектроніки дає змогу виготовити поруватий SiO_2 у вигляді наноматеріалу для якого характерна висока хімічна активність, це сприяє виготовленню високочутливих, селективних та мініатюрних сенсорів фізичних величин. Одним із практичних застосувань поруватого SiO_2 – це використання його як вологочутливого матеріалу для виготовлення мікроелектронних сенсорів вологості, а саме, вологочутливих МДН-конденсаторів [1–7].

Для покращення метрологічних характеристик сенсора та контрольно-вимірювальних систем потрібно провести велику кількість експериментів, а саме, доцільно застосувати активний експеримент, який оснований на математичній теорії планування експерименту [8–14].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Відомо, що вологість відіграє важливу роль у житті людини та автоматизованих виробничих процесах. Для того, щоб мати необхідну атмосферу навколишнього середовища потрібно контролювати, визначати та регулювати вологість навколишнього середовища в різних умовах. Необхідність захисту навколишнього середовища сприяла збільшенню різноманітності розробок сенсорів вологості на основі використання фізико-хімічних методів за наявності органічних, неорганічних або гібридних матеріалів. Розвиток сенсорних систем вологості потребує значних зусиль щодо покращення виконання перетворювача фізичних величин, зокрема його чутливих елементів, конструктивного рішення, принципу дії та технології виготовлення. У зв'язку з цим ключовими характеристиками для досягнення потрібної величини ефективності, оптимізації поверхні, простоти процесу виробництва та інвестиційних витрат є матеріали перетворювача і його чутливих елементів, а також наявність відповідних технологій виробництва, вільний вибір геометричних властивостей приладу [1–7].

Для розроблення та вдосконалення чутливих елементів контрольно-вимірювальних систем потрібно провести велику кількість експериментів, ефективність яких залежить від обраного метода математичної статистики. Для того, щоб знайти оптимальні рішення або зробити ґрунтовні висновки потрібно застосовувати експерименти за багатофакторними планами з урахуванням сумісного впливу факторів [8–14].

Формулювання цілей статті

Метою роботи є оцінювання якісного впливу на чутливість вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду з використанням багатофакторного дисперсійного аналізу таких факторів:

- товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду;
- діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду;
- сумісний вплив: товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду + діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду.

Для досягнення цієї мети треба вирішити такі задачі:

- 1) провести аналіз існуючих наукових джерел та обґрунтувати доцільність застосування багатофакторного експерименту для двох якісних факторів;
- 2) розробити багатофакторний план експерименту для двох якісних факторів;
- 3) з використанням дисперсійного аналізу здійснити оцінювання впливу таких факторів на відгук моделі: товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду; діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду; сумісний вплив: товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду + діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду.
- 4) зробити висновки з проведених досліджень.

Виклад основного матеріалу

Експериментальним зразком слугував вологочутливий МДН-конденсатор, розроблений в науково-дослідному інституті (НДІ) «Гелій» (м. Вінниця). Структура вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду подана на рис. 1. В розробленій конструкції вологочутливим шаром є аморфний силіцій(IV) оксид [2].

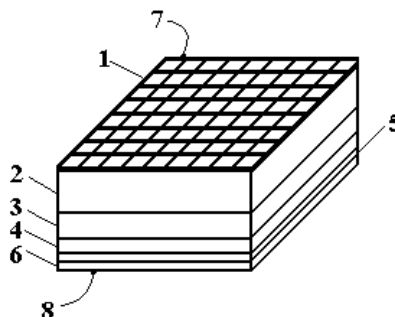


Рис. 1. Структура вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду: 1 – алюмінієвий сітчастий електрод; 2 – шар аморфного силіцій(IV) оксиду; 3 – шар термічного силіцій(IV) оксиду; 4 – кремнієва пластина *n*-типу; 5 – сильнолегований шар *n*⁺; 6 – тонкий алюмінієвий шар; 7, 8 – омичні контакти

В роботі подано результати дослідження залежності чутливості вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду від впливу таких факторів: товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду; діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду, а також сумісного впливу: товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду + діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду. Для розрахунків використаємо такі позначення: фактор *A* – товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду d_{aSiO_2} , мкм; A_1 – нижній рівень фактора *A*; A_2 – верхній рівень фактора *A*; фактор *B* – діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду

$D_{\text{нор}}$, A ; B_1 – нижній рівень фактора B ; B_2 – верхній рівень фактора B ; AB – сумісний вплив фактора A та фактора B ; відгук моделі

y – чутливість вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду S_C , пФ/°.

Виконаємо оцінювання впливу факторів A , B , AB на чутливість вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду. Результати проведеного факторного експерименту подано в табл. 1.

Таблиця 1

Результати факторного експерименту

	$d_{\text{aSiO}_2} = 0,5 \text{ мкм}$	$d_{\text{aSiO}_2} = 1,0 \text{ мкм}$
$D_{\text{нор}} = 20 \text{ °}$	1,27; 1,85; 1,52; 1,67	1,7; 2,75; 1,95; 2,45
$D_{\text{нор}} = 150 \text{ °}$	2,33; 2,89; 2,65; 2,78	2,89; 2,92; 2,58; 2,63

Врахуємо те, що кожний фактор має два рівня $-q = 2$ та вісім прогонів $-p = 8$. Результати експериментів згідно з багатофакторним планом для двох якісних факторів подано в табл. 2.

Таблиця 2

Результати багатофакторного плану для двох якісних факторів

2^2	A_1	A_2	Дисперсійний аналіз	
			дисперсія	кількість ступенів вільності
B_1	1,27; 1,85; 1,52; 1,67	1,7; 2,75; 1,95; 2,45	фактор A	1
B_2	2,33; 2,89; 2,65; 2,78	2,89; 2,92; 2,58; 2,63	фактор B	1
			фактор AB	1
			залишкова	15-3=12
	$p = 8$	$N_{\text{нр}} = 16$	загальна	16-1=15

Для оцінювання впливу факторів на відгук моделі застосуємо багатофакторний дисперсійний аналіз. Обчислимо значення факторної дисперсії $S_{\text{факт}}$, залишкової дисперсії $S_{\text{залиш}}$ за такими формулами [14]:

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

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

де y_j – спостереження відгуку моделі в j -ому експерименті;

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

Середні значення спостережень розрахуємо за формулами (3) [14]:

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

Значення факторної $d_{\text{факт}}$ та залишкової дисперсії $d_{\text{залиш}}$, з врахуванням кількості ступенів вільності розрахуємо за формулами [14]:

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

В знаменнику виразу (4) враховано кількість ступенів вільності. Спостережуване значення критерію Фішера визначають в такий спосіб [14]:

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

За виразами (1) – (5) виконаємо оцінювання впливу факторів A , B , AB на відгук моделі – це чутливість вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду. В табл. 3 подано результати обчислень.

Для випадку двох якісних факторів в знаменнику залишкової дисперсії (4) кількість ступенів вільності – 12 (для однофакторного дисперсійного аналізу – 14).

За величиною критерію Фішера проведено порівняння факторної та залишкової дисперсії. З використанням багатофакторного дисперсійного аналізу встановлено, що на відгук моделі, а саме, на чутливість вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду суттєво впливає фактор B – це діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду, $F > F_{\text{кр}}$ (16,44 > 4,75). Тобто різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана зі зміною значення фактора. Вплив факторів A і AB – це товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду, сумісний вплив: товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду + діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду є несуттєвим, тобто різниця в значеннях відгуку моделі обумовлена випадковим її характером та не залежить від зміни значення фактора ($F < F_{\text{кр}}$).

Таблиця 3

Результати якісного оцінювання впливу факторів за дисперсійним аналізом

	A		B		AB
$\overline{y_{A_1}}$	2,12	$\overline{y_{B_1}}$	1,9	$\overline{y_{AB_1}}$	2,44
$\overline{y_{A_2}}$	2,48	$\overline{y_{B_2}}$	2,71	$\overline{y_{AB_2}}$	2,17
$\overline{y_A}$	2,3	$\overline{y_B}$	2,31	$\overline{y_{AB}}$	2,31
$S_{факт}$	0,52	$S_{факт}$	2,63	$S_{факт}$	0,29
$S_{залиш}$	4,07	$S_{залиш}$	1,95	$S_{залиш}$	4,3
$d_{факт}$	0,52	$d_{факт}$	2,63	$d_{факт}$	0,29
$d_{залиш}$	0,34	$d_{залиш}$	0,16	$d_{залиш}$	0,36
F	1,53	F	16,44	F	0,81
$F_{кр}$	4,75	$F_{кр}$	4,75	$F_{кр}$	4,75

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. На основі аналізу технічних джерел встановлено, що ефективність процесів адсорбції в аморфному SiO₂ залежить не тільки від раціонального вибору поруватого SiO₂ із заданою поруватою структурою, але й від хімічної природи його поверхні. Для кожного конкретного газу, вологи, парів спиртів тощо, потрібно вибирати поруватий SiO₂ з конкретно визначеною поруватою структурою. Крім того, з метою систематизації, обробки та аналізу результатів експериментальних даних доцільно застосувати методи математичної статистики. Застосування багатофакторних планів експериментів дозволяє не тільки ретельно проаналізувати експеримент, але й зробити ґрунтовні висновки та знайти оптимальні рішення стосовно впливу факторів на відгук моделі.

2. В роботі розроблено багатофакторний план для двох якісних факторів. З використанням багатофакторного дисперсійного аналізу доведено, що на чутливість вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду впливає фактор B , тобто діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду, $F > F_{кр}$ (16,44 > 4,75). Різниця в значеннях відгуку моделі пов'язана зі зміною значення фактора. Вплив факторів A і AB – це товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду, сумісний вплив: товщина шару вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду + діаметр пор вологочутливого аморфного силіцій(IV) оксиду є несуттєвим, тобто різниця в значеннях відгуку моделі обумовлена випадковим характером і не залежить від зміни значення фактора ($F < F_{кр}$).

3. В подальших дослідженнях з метою оптимізації параметрів вологочутливого МДН-конденсатора на основі аморфного силіцій(IV) оксиду планується застосувати регресійний аналіз.

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. Bozhi, Yang. Compliant and Low-cost Humidity Sensors using Nano-porous Polymer Membranes [Electronic resource] / Bozhi Yang, Burak Aksak, Qiao Lin, Metin Sitti // Appeared in Sensors and Actuators B: Chemical. – 30 March 2006. – Vol. 114, – № 1. – P. 254 – 262. – Mode of access: https://biomems.me.columbia.edu/research/PDFs/jour/Bozhi_06_Compliant_Low-Cost_Humidity_Nanosensor.pdf (date of access: 16.07.2024). – Title from screen.
4. Ashis, Tripathy. Design and Development for Capacitive Humidity Sensor Applications of Lead-Free Ca,Mg,Fe,Ti-Oxides-Based Electro-Ceramics with Improved Sensing Properties via Physisorption [Electronic resource] / Ashis Tripathy, Sumit Pramanik, Ayan Manna, Satyanarayan Bhuyan, Nabila Farhana Azrin Shah, Zamri Radzi, Noor Azuan Abu Osman // Sensors. – 2016. – № 16. – P. 1135; doi:10.3390/s16071135. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/305522000_Design_and_Development_for_Capacitive_Humidity_Sensor_Applications_of_Lead-Free_CaMgFeTi-Oxides-Based_Electro_Ceramics_with_Improved_Sensing_Properties_via_Physisorption (date of access: 16.07.2024). – Title from screen.
5. Hamid, Farahani. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review [Electronic resource] / Hamid Farahani, Rahman Wagiran, Mohd Nizar Hamidon // Sensors. – 2014. – № 14. – P. 7881 – 7939. doi:10.3390/s140507881. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/262015128_Humidity_Sensors_Principle_Mechanism_and_Fabrication_Technologies_A_Comprehensive_Review/link/00b495368b08331ae9000000/download (date of access: 16.07.2024). – Title from screen.
6. Монастирський Л. С. Сенсорні властивості гібридних композитів полі-3,4-етилендіоксидіофен – поруватий кремній / Л. С. Монастирський, О. І. Аксіментьєва, І. Б. Оленич, Л. І. Ярицька, Ю. Ю. Горбенко // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2014 – Т. 11, № 1. – С. 63 – 69.

7. Когдась М. Дослідження адсорбції молекул побутового газу на електрофізичні властивості поруватого кремнію / М. Когдась // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2024. – №1 (27). – С. 246 – 255.

8. 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.

9. 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.

10. Крилик Л. В. Визначення якісного впливу факторів на чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури, оснований на багатофакторному дисперсійному аналізі / Л. В. Крилик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки – 2023. – № 2(319). – С. 175 – 180.

11. Крилик Л. В. Практичне застосування регресійного аналізу для оцінювання впливу факторів на чутливість ємнісного сенсора вологості двошарової структури / Л. В. Крилик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2023. – № 3(321). – С. 109 – 114.

12. 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.

13. Шуть О. Теоретико-методологічні аспекти статистичних досліджень / О. Шуть // Збірник наукових праць ДЕДУТ. Серія «Економіка і управління». – 2012. – Вип. 22–21, Ч. 2. – 305–311.

14. 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. Bozhi, Yang. Compliant and Low-cost Humidity Sensors using Nano-porous Polymer Membranes [Electronic resource] / Bozhi Yang, Burak Aksak, Qiao Lin, Metin Sitti // Appeared in Sensors and Actuators B: Chemical. – 30 March 2006. – Vol. 114, – № 1. – P. 254 – 262. – Mode of access: https://biomems.me.columbia.edu/research/PDFs/jour/Bozhi_06_Compliant_Low-Cost_Humidity_Nanosensor.pdf (date of access: 16.07.2024). – Title from screen.
4. Ashis, Tripathy. Design and Development for Capacitive Humidity Sensor Applications of Lead-Free Ca,Mg,Fe,Ti-Oxides-Based Electro-Ceramics with Improved Sensing Properties via Physisorption [Electronic resource] / Ashis Tripathy, Sumit Pramanik, Ayan Manna, Satyanarayan Bhuyan, Nabila Farhana Azrin Shah, Zamri Radzi, Noor Azuan Abu Osman // Sensors. – 2016. – № 16. – P. 1135; doi:10.3390/s16071135. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/305522000_Design_and_Development_for_Capacitive_Humidity_Sensor_Applications_of_Lead-Free_CaMgFeTi-Oxides-Based_Electro_Ceramics_with_Improved_Sensing_Properties_via_Physisorption (date of access: 16.07.2024). – Title from screen.
5. Hamid, Farahani. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review [Electronic resource] / Hamid Farahani, Rahman Wagiran, Mohd Nizar Hamidon // Sensors. – 2014. – № 14. – P. 7881 – 7939. doi:10.3390/s140507881. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/262015128_Humidity_Sensors_Principle_Mechanism_and_Fabrication_Technologies_A_Comprehensive_Review/link/00b495368b08331ae9000000/download (date of access: 16.07.2024). – Title from screen.
6. Monastyrskiy L. S. Sensorni vlastyivosti hibrnydykh kompozytiv poli-3,4-etylendyoksitiofen – poruvatyi kremnii / L. S. Monastyrskiy, O. I. Aksimentieva, I. B. Olenych, L. I. Yarytska, Yu. Yu. Horbenko // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2014 – Т. 11, № 1. – С. 63 – 69.
7. Kohdas M. Doslidzhennia adsorbtsii molekul pobutovoho hazu na elektrofizychni vlastyivosti poruvatoho kremniiu / M. Kohdas // Suchasnyi stan naukovykh doslidzhen ta tekhnolohii v promyslovosti. – 2024. – №1 (27). – С. 246 – 255.
8. 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). – С. 119 – 124.
9. 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). – С. 122 – 127.
10. Krylyk L. V. Vyznachennia yakisnoho vplyvu faktoriv na chutlyvist yemnisnoho sensora volohosti dvoшarovoi struktury, osnovanoho na bahatofaktornomu dyspersiinomому analizi / L. V. Krylyk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – 2023. – № 2(319). – С. 175 – 180.
11. Krylyk L. V. Praktychne zastosuvannia rehresiinoho analizu dlia otsiniuvannia vplyvu faktoriv na chutlyvist yemnisnoho sensora volohosti dvoшarovoi struktury / L. V. Krylyk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky. – 2023. – № 3(321). – С. 109 – 114.
12. Pavliuk K. V. Metodychni pidkhody do rozroblennia normatyviv i otsinky naukovo-doslidnoi pratsi na osnovi bahatofaktornoho korelyatsiino-rehresiinoho analizu / K. V. Pavliuk // Naukovi pratsi NDFI. – 2020. – № 3(92). – С. 5–19.
13. Shut O. Teoretyko-metodolohichni aspekty statystychnykh doslidzhen / O. Shut // Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Serii «Ekonomika i upravlinnia». – 2012. – Vyp. 22–21, Ch. 2. – 305–311.
14. Stetsenko I. V. Modeliuvannia system / I. V. Stetsenko. – Cherkasy : ChDTU, 2010. – 399 s.