

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НЕВИЗНАЧЕННОСТІ

І.В. Григоренко¹, С.М. Григоренко², О.В. Жук³, С. Ю. Гавриленко⁴

¹НТУ «ХПІ», вул. Курпичова, 2, м. Харків, Україна, grigmaestro@gmail.com

²НТУ «ХПІ», вул. Курпичова, 2, м. Харків, Україна, sngloba@gmail.com

³НТУ «ХПІ», вул. Курпичова, 2, м. Харків, Україна, seozavr@gmail.com

⁴НТУ «ХПІ», вул. Курпичова, 2, м. Харків, Україна, gavrilenko08@gmail.com

Анотація

Розглянуто вирішення науково-практичної задачі обґрунтування необхідності врахування кореляції між результатами вимірювання температур, що отримані за допомогою двох датчиків *TMP36* та *DS18B20*. Датчики під'єднані до мікроконтролерної плати *Arduino Uno*. Комп'ютерне моделювання виконано за допомогою програмного забезпечення для системного проектування – *LabVIEW*. Надано інформацію щодо кореляційного аналізу, який дає можливість визначити ступінь впливу факторних ознак на результати вимірювань, встановити єдину міру тісноти зв'язку та роль досліджуваного фактору (факторів) у загальній зміні результативної ознаки. Зазначено, що сенс кореляційного аналізу щодо вимірювань температури двома датчиками полягає у визначенні кількісної міри схожості різних сигналів. Взаємна кореляційна функція різних сигналів описує як ступінь подібності форми двох сигналів, так і їх взаємне розташування відносно один до одного по координаті (незалежної змінної). Наведено схеми підключення датчиків до плати *Arduino Uno* та блок-діаграму перевірки датчика температури, що сконструйована за допомогою програмного забезпечення для системного проектування – *LabVIEW*. Виконано обчислення коефіцієнту кореляції. Зроблено перевірку значимості коефіцієнту кореляції, який обчислений за обмеженою кількістю спостережень. Проведено розрахунок сумарної стандартної невизначеності для корельованих даних.

Ключові слова: невизначеність вимірювань, кореляція, вимірювач, датчик, похибка.

Вступ.

Кореляційний метод дозволяє одержати кількісні характеристики ступеня зв'язку між двома і більшим числом ознак, дає більш широке уявлення про зв'язок між ними. Зв'язки між факторами досить різноманітні. При цьому одні ознаки виступають в ролі факторів, що діють на інші, зумовлюючи їх зміну, другі – в ролі дії цих факторів. Кореляційний аналіз дає змогу виміряти ступінь впливу факторних ознак на результати, встановити єдину міру тісноти зв'язку та роль досліджуваного фактору (факторів) у загальній зміні результативної ознаки.

Наприклад, сенс кореляційного аналізу щодо контролю параметрів технологічного процесу виготовлення губної помади полягає у визначенні кількісної міри схожості різних сигналів. Взаємна кореляційна функція різних сигналів описує як ступінь подібності форми двох сигналів, так і їх взаємне розташування відносно один одного по координаті (незалежної змінної) [1].

Коефіцієнт кореляції відіграє важливе значення не тільки при обробці результатів вимірювань, але й при конструктивній або схемно-технічній компенсації систематичних похибок вимірювань і засобів вимірювальної техніки [2].

Кореляція між величинами a та b , що належать двом процесам називається лінійною, якщо обидві функції регресії лінійні. У такому випадку лінії регресії перетворюються у прямі регресії, кутові коефіцієнти яких виражаються через коефіцієнт кореляції. Цей коефіцієнт виступає мірою лінійної залежності між величинами [3].

Позначимо коефіцієнт кореляції через k . Тоді коефіцієнтом кореляції між двома випадковими

величинами a та b називається математичне очікування добутку їх нормованих відхилень

$$k = M \left[\frac{a-c}{\sigma_a} \cdot \frac{b-d}{\sigma_b} \right], \quad (1)$$

де $c = M[a]$ та $d = M[b]$ - центри розподілу величин a та b ;

σ_a та σ_b - дисперсії величин a та b .

Коефіцієнт кореляції k може бути записаний по одній з наступних форм

$$k = \frac{1}{\sigma_a - \sigma_b} \cdot M[(a-c) \cdot (b-d)], \text{ або} \quad (2)$$

$$k = \frac{M[ab] - M[a]M[b]}{\sigma_a \sigma_b}. \quad (3)$$

Величину $M[(a-c) \cdot (b-d)]$ називають кореляційним моментом.

Коефіцієнт кореляції k є безрозмірною величиною, абсолютне значення якої не перевищує одиниці $|k| \leq 1$. Для незалежних величин a та b коефіцієнт кореляції дорівнює нулю, але й для залежних величин коефіцієнт кореляції може бути рівним нулю. У такому випадку величини a та b називають некорельованими [3].

Коефіцієнт кореляції k характеризує міру лінійної залежності між величинами a та b . Це означає, якщо $Aa+B$ є лінійною функцією найкращого середньоквадратичного наближення до величини b , тобто функцією для якої математичне очікування $M[b - (Aa+B)]^2$ досягає найменшого

значення, то математичне очікування випадкової величини $z = b - (Aa + B)$, що є похибкою наближення, дорівнює нулю. Відношення дисперсії σ_z^2 до дисперсії величини b визначається лише величиною коефіцієнту кореляції за формулою

$$\frac{\sigma_z^2}{\sigma_b^2} = 1 - k^2. \quad (4)$$

Аналогічно, якщо $Cb + D$ є лінійною функцією найкращого середньоквадратичного наближення до величини a та $f = a - (Cb + D)$, що є похибкою цього наближення, то

$$\frac{\sigma_f^2}{\sigma_a^2} = 1 - k^2. \quad (5)$$

Якщо коефіцієнт кореляції k дорівнює нулю, то немає лінійної кореляції, але це не виключає наявності нелінійної кореляції.

Чим ближче $|k|$ до одиниці, тим тісніша лінійна залежність між величинами, тобто тим менша середня квадратична похибка визначення кожної з величин за допомогою лінійної функції іншої величини. Рівняння $|k|=1$ означає наявність лінійної функціональної залежності між величинами a та b (кожному значенню однієї з величин відповідає точно одне значення іншої величини) [3].

На цей час кореляційний аналіз важливе місце у прикладній математичній статистиці, що використовується у різних галузях. У роботі [4] аналізується можливість врахування кореляції при оцінці невизначеності, обумовленої постійним зсувом результатів вимірювань. Оцінений фізичний сенс підходу, що базується на врахуванні кореляції і показана складність його застосування. Отримані вирази для невизначеності базових обчислювальних алгоритмів. У роботі [5] наведено основні показники і процедуру застосування методів множинного кореляційно-регресійного аналізу для дослідження багатофакторних процесів і явищ. Отримані результати, використані для побудови математичної моделі оптимального планування охорони праці на підприємствах лісової галузі України з метою зменшення рівня травматизму. У роботі [6] доведено необхідність визначення взаємної кореляції параметрів технологічного процесу при виготовленні губної помади для того, щоб мати можливість впливати на якість готової продукції. Залишається не вирішеним питання про необхідність врахування кореляції між результатами вимірювань температури при розрахунку сумарної стандартної невизначеності та розширеної невизначеності для корельованих даних.

Мета статті.

Мета статті полягає у визначенні кореляції між результатами вимірювань температури, що отримані із датчиків *TMP36* та *DS18B20* та пошуку відповіді на питання, чи треба враховувати кореляцію при розрахунку сумарної стандартної невизначеності та розширеної невизначеності для корельованих даних.

Виклад основного матеріалу.

Для перевірки якості функціонування датчика температури *TMP36* обираємо більш точний за метрологічними характеристиками датчик температури *DS18B20*. Отримання результатів вимірювання температури виконуємо за допомогою мікроконтролерної плати *Arduino Uno* [7], а також програмного забезпечення для системного проектування – *LabVIEW*. Датчики було встановлено на столі в зоні «вистрілювання» олівців губної помади у пенал.

Для використання *TMP36* досить підключити лівий конектор датчика (V_{ad}) до джерела живлення (2,7 – 5,5 В), а правий – до землі. З середнього конектора знімають аналогове значення напруги, яке прямопропорційне (лінійна залежність) температурі. Значення аналогової напруги не залежить від джерела живлення.

Зовнішній вигляд датчика температури *TMP36* представлено на Рис 1.



Рис. 1. Датчик температури *TMP36*

Зовнішній вигляд датчика температури *DS18B20* представлено на Рис 2.



Рис. 2. Типове підключення датчика *DS18B20*

Для проведення досліджень було зібрано схему, що представлена на Рис. 3.

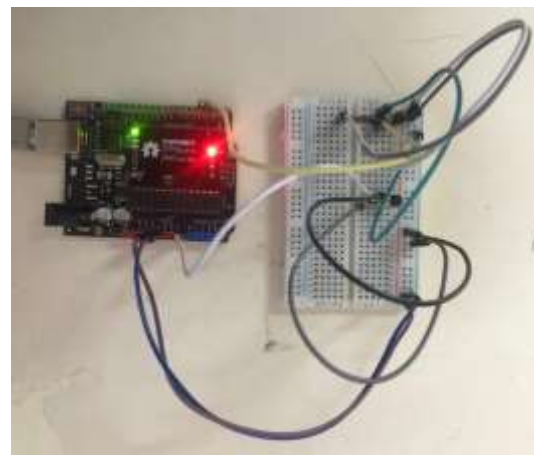


Рис. 3. Схема вимірювального приладу

Блок-діаграма повірки датчика температури сконструйована за допомогою програмного забезпечення для системного проектування – LabVIEW і представлена на Рис. 4.

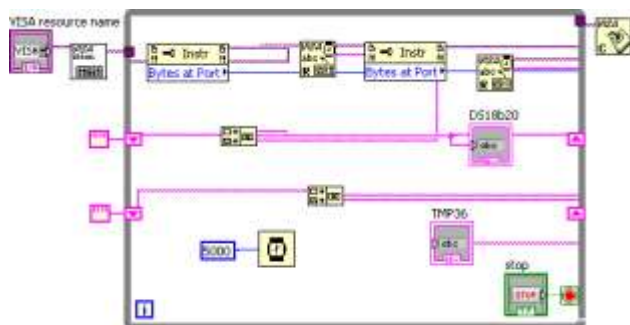


Рис. 4. Блок-діаграма контролю роботи датчиків температури

Порівняльний аналіз здійснювався по 30 контрольним точкам. Дані отримані за допомогою датчика температури TMP36 і представлені у вигляді діаграми на Рис. 5. Дані отримані від датчика температури DS18b20 представлені на Рис. 6.

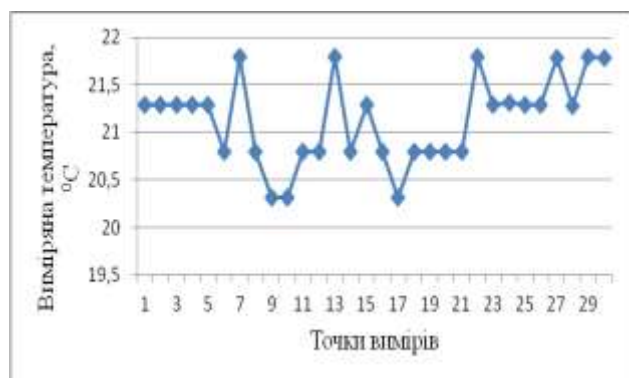


Рис. 5. Результати спостережень за зміною температури за допомогою датчика температури TMP36

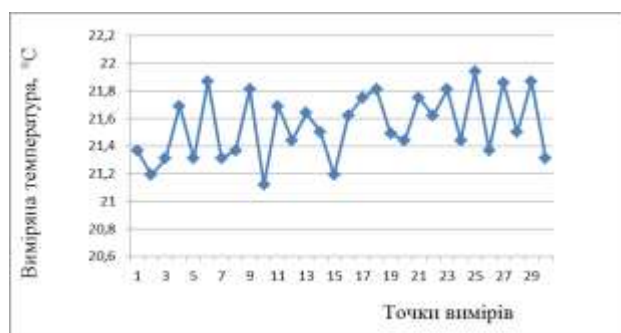


Рис. 6. Результати спостережень за зміною температури за допомогою датчика температури DS18b20

Похибка досліджуваного пристрою визначається по різниці показань еталонного та досліджуваного приладу (6) із застосуванням статистичної обробки результатів. Похибка не повинна перевищувати клас точності термоопору за нормативно-технічною документацією (НТД)

$$\delta_t = \frac{t_D - t_E}{t_E} \cdot 100\% , \quad (6)$$

де t_D – температура, що одержана за допомогою датчика TMP36;

t_E – температура, що одержана за допомогою еталонного датчика DS18b20.

Результати вимірювань температури наведено в Табл. 1. При калібруванні датчика було проведено одночасні дев'ятикратні вимірювання температури еталонним (t_E) DS18b20 і датчиком температури (t_D) TMP36, що калібрується.

Таблиця 1

Результати вимірювань температури еталонним (t_E) DS18b20 і датчиком температури (t_D) TMP36, що калібрується

$t, ^\circ\text{C}$	t_E DS18b20	t_D TMP36	$\delta_t, \%$
21,1	21,12	20,8	1,52
21,2	21,19	21,28	- 0,43
21,3	21,31	21,29	0,09
21,4	21,4	21,29	0,51
21,5	21,5	21,31	0,88
21,6	21,62	21,31	1,44
21,7	21,75	21,78	- 0,14
21,8	21,81	21,78	0,14
21,9	21,94	21,8	0,64

З Табл. 1 видно, що максимальна похибка дорівнює 1,52 і не перевищує максимально допустимої похибки датчика TMP36, яка наведена у НТД.

Наведені результати вимірювань повинні бути корельовані, оскільки загальним джерелом, що впливає на результати вимірювань температур, є нестабільність температури датчика.

Обчислення коефіцієнту кореляції.

При наявності узгоджених пар вимірювань t_E та t_D , $q = 1, 2, \dots, n$, коефіцієнт кореляції обчислюється по типу A за формулою [8]

$$k_{ED} = \frac{\sum_{q=1}^n (t_{Eq} - \bar{t}_E) \cdot (t_{Dq} - \bar{t}_D)}{\sqrt{\sum_{q=1}^n t_{Eq} - \bar{t}_E \sum_{q=1}^n t_{Dq} - \bar{t}_D}} = \frac{1}{n(n-1)} \frac{\sum_{q=1}^n (t_{Eq} - \bar{t}_E) \cdot (t_{Dq} - \bar{t}_D)}{u_A(\bar{t}_E) \cdot u_A(\bar{t}_D)} \quad (7)$$

Обробка даних Табл. 1 дала наступні результати: – середнє значення показань;

$$\bar{t}_E = 21,515 ^\circ\text{C} ,$$

$$\bar{t}_D = 21,404 ^\circ\text{C}$$

– стандартні невизначеності типу A вимірювання температур;

$$u_A(\bar{t}_E) = \delta_{\bar{t}_E} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} = 0,095 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (8)$$

$$u_A(\bar{t}_D) = \delta_{\bar{t}_D} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} = 0,12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

– коефіцієнт кореляції між результатами вимірювання температур;

$$k_{E,D} = 0,899.$$

Перевірка значимості коефіцієнту кореляції, що обчислений за обмеженою кількістю спостережень.

При обмеженому числі спостережень розраховане значення коефіцієнту кореляції може відрізнятись від нуля навіть тоді, коли кореляція повинна бути відсутня із загально фізичних міркувань [8]. Перевірити значимість коефіцієнту кореляції для його подальшого обліку (або ігнорування) дозволяє застосування критерію Стюдента

$$\frac{|k|}{\sqrt{1-k^2}} \sqrt{n-2} \geq t_p(n-2), \quad (9)$$

де $t_p(n-2)$ – коефіцієнт Стюдента для числа ступенів свободи $(n-2)$.

При виконанні нерівності (9) коефіцієнт кореляції є значимим і повинен враховуватися при обчисленні невизначеності вимірювань.

Оцінимо значимість коефіцієнту кореляції при калібруванні датчика температури

$$\frac{|0,899|}{\sqrt{1-0,899^2}} \sqrt{9-2} > t_{0,95}(7),$$

$$5,444 > 2,364.$$

Таким чином, коефіцієнт кореляції між показаннями двох датчиків є значимим і повинен враховуватися при розрахунку невизначеності вимірювань.

Розрахунок сумарної стандартної невизначеності для корельованих даних.

Якщо у модельному рівнянні $y = f(t_1, t_2, \dots, t_m)$ присутні дві входні величини (наприклад, t_E, t_D), результати багаторазових вимірювань яких виконані одночасно і корелюють між собою з коефіцієнтом кореляції $k_{E,D}$, то вираз для сумарної стандартної невизначеності матиме такий вигляд [8]

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m C_i^2 u^2(t_i) + 2 \cdot k_{E,D} \cdot C_E \cdot C_D \cdot u(t_E) u(t_D)} = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y) + 2 \cdot k_{E,D} \cdot u_E(y) \cdot u_D(y)}. \quad (10)$$

У процесі калібрування датчика оцінюють різницю Δ між результатом вимірювання t_E еталонного датчика і значенням t_D калібруемого датчика в точці калібрування, тим самим визначають систематичну похибку калібруемого приладу

$$\Delta = (t_E + \Delta_E) - (t_D + \Delta_D) + \Delta_t, \quad (11)$$

де Δ_D – поправка на калібрування еталонного термометр;

Δ_E – поправка на похибка відліку показань калібруемого термометра;

Δ_t – поправка на нерівномірність розподілу температури в термостаті [8].

Оскільки систематичні складові похибки $\Delta_D, \Delta_E, \Delta_t$ за умовами експерименту вважаються відсутніми, то виміряне значення Δ дорівнюватиме

$$\Delta = \bar{t}_E - \bar{t}_D = 0,111 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Дискретність за шкалою калібруемого датчика становить $q = 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$ (взято із НТД), тому в припущенні рівномірного розподілу всередині діапазону стандартна невизначеність відліку калібруемого датчика буде визначатися за формулою

$$u(\Delta_D) = \frac{q}{2\sqrt{3}} = \frac{0,01}{3,4641} = 0,0029 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Стандартна невизначеність еталонного датчика буде обчислюватися через розширену невизначеність $U_S = 0,005 \text{ } ^\circ\text{C}$, яка взята зі сертифікату про калібрування, за формулою

$$u(\Delta_E) = \frac{U_S}{k_{ox}}, \quad (12)$$

де U_S – розширена невизначеність еталонного датчика;

k_{ox} – коефіцієнт охоплення;

$$u(\Delta_E) = \frac{0,005}{2} = 0,0025 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Стандартна невизначеність нерівномірності температури термостата визначається через діапазон нерівномірності температури, взятої з нормативної документації на термостат, за формулою

$$u(\Delta_t) = \frac{\theta_t}{\sqrt{3}} = \frac{0,004}{\sqrt{3}} = 0,0023 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Сумарна стандартна невизначеність буде дорівнювати

$$u(\Delta) = (u_A^2(\bar{t}_E) + u^2(\Delta_E) + u_A^2(\bar{t}_D) + u^2(\Delta_D) + u^2(\Delta_t) - 2 \cdot k_{E,D} \cdot u_A(\bar{t}_E) \cdot u_A(\bar{t}_D))^{0,5} = 0,044 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таким чином, ігнорування кореляції в цьому випадку призвело б до збільшення значення сумарної стандартної невизначеності, а саме

$$u(\Delta) = (u_A^2(\bar{t}_E) + u^2(\Delta_E) + u_A^2(\bar{t}_D) + u^2(\Delta_D) + u^2(\Delta_t))^{0,5} = 0,145 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахунок розширеної невизначеності для корельованих даних.

При розрахунку розширеної невизначеності для корельованих даних використовуємо формулу [8]

$$U(\Delta) = k_{ox} \cdot u(\Delta). \quad (13)$$

Оскільки у сумарній стандартній невизначеності $u(\Delta)$ є вклади невизначеності, що розраховані за типом А, то коефіцієнт охоплення k_{ox} повинен визначатися як

$$k_{ox} = t_{0,95}(v_{eff}), \quad (14)$$

в якій ефективне число ступенів свободи v_{eff} дорівнюватиме

$$v_{eff} = (n-1) \frac{u^4(\Delta)}{u_{A_{E,D}}^4(\Delta)}, \quad (15)$$

де $u_{A_{E,D}}$ – сумарна стандартна невизначеність типу А загального вкладу корельованих вхідних величин, що розраховується наступним чином

$$u_{A_{E,D}}(\Delta) = (u_{E,A}^2(\Delta) + u_{D,A}^2(\Delta) + 2 \cdot k_{E,D} \cdot u_{E,A}(\Delta) \cdot u_{D,A}(\Delta))^{0,5} \quad (16)$$

При калібруванні термостату для наявних вхідних даних отримуємо сумарну стандартну невизначеність типу А згідно (16) наступним чином

$$u_{A_{E,D}}(\Delta) = 0,048 \text{ } ^\circ\text{C}$$

та ефективне число ступенів свободи згідно (15) розраховується

$$v_{eff} = (9-1) \cdot \left[\frac{0,044}{0,048} \right]^4 = 5,6,$$

для якого коефіцієнт охоплення k_{ox} згідно (14) визначається [2] як

$$k_{ox} = t_{0,95}(6) = 2,447.$$

Таким чином, розширена невизначеність вимірювання згідно (13) дорівнюватиме

$$U(\Delta) = 0,044 \cdot 2,447 = 0,11 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Ігнорування кореляції призвело б до наступних оцінок сумарної стандартної невизначеності

$$u_{A_{E,D}}(\Delta) = 0,145 \text{ } ^\circ\text{C},$$

ефективного числа ступенів свободи

$$v_{eff} = (9-1) \cdot \left[\frac{0,145}{0,145} \right]^4 = 8$$

для якого

$$k = t_{0,95}(8) = 2,306.$$

і розширеної невизначеності

$$U(\Delta) = 2,306 \cdot 0,145 = 0,334 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

З отриманих результатів стає очевидним, що ігнорування кореляції призвело б до не виправданого збільшення розширеної невизначеності у 3 рази.

Висновки.

Таким чином, у роботі було проведено визначення кореляції між результатами вимірювань температури із датчиків *TMP36* та *DS18B20*. Експериментальні данні були отримані за допомогою мікроконтролерної плати *Arduino Uno*, а також з використанням програмного забезпечення для системного проектування – *LabVIEW*. Виконано обчислення коефіцієнту кореляції. Зроблено перевірку значимості коефіцієнту кореляції, що розрахований за обмеженою кількістю спостережень. Проведено розрахунок сумарної стандартної невизначеності для корельованих даних. Доведено, що ігнорування кореляції в цьому випадку привело б до збільшення значення сумарної стандартної невизначеності у 3,3 рази. Розрахунок розширеної невизначеності для корельованих даних показав, що ігнорування кореляції призвело б до не виправданого збільшення розширеної невизначеності у 3 рази.

Список літератури

1. Цифровая обработка сигналов – [www. http:// www. books.ifmo.ru / file / pdf / 1075.pdf](http://www.books.ifmo.ru/file/pdf/1075.pdf). (дата звернення 22.07.2020 р.).
2. Чинков В.М. Основи метрології та виміральної техніки / В.М. Чинков. – Харків: НТУ «ХП», 2005. – 524 с.
3. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшицкий. – Москва: Наука. ФИЗМАТЛИТ, 1971. – 192 с.
4. Володарський С.Т. Коректність оцінки кореляції, обумовленої постійним зсувом результатів вимірювань / С.Т. Володарський, Л.О. Кошева, О.О. Мішина // Системи обробки інформації, 2007, випуск 6 (64).
5. Степанішин В.М. Побудова моделі кореляційного аналізу для дослідження багатofакторних процесів і явищ / В.М. Степанішин, Л.О. Тисовський // Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua> (дата звернення 24.07.2020 р.).
6. Григоренко І.В. Визначення взаємної кореляції параметрів технологічного процесу виготовлення губної помади / І.В. Григоренко, М.М. Боженко // XXVII Міжнар. наук. – практ. конф.: Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я, том 2. – Харків, 2019. – С. 8.
7. Arduino Uno – // [https:// uk.wikipedia.org / wiki / Arduino_Uno](https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno) // (дата звернення 26.07.2020 р.).
8. Zakharov I.P. Estimating measurement uncertainty on the basis of observed and logical correlation // Measurement Techniques, Vol. 50, No. 8, 2007, p. 808-816.

References

1. Tsyfrovaia obrabotka syhnalov – [www. http:// www. books.ifmo.ru / file / pdf / 1075.pdf](http://www.books.ifmo.ru/file/pdf/1075.pdf). (accessed 22.07.2020)
2. Chynkov V.M. Osnovy metrolohii ta vymiriualnoi tekhniki / V.M. Chynkov. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2005. – 524 p. (in Ukrainian)
3. Rumshyskyj L.Z. Matematycheskaya obrabotka rezultatov eksperymenta / L.Z. Rumshyskyj. – Moskva: Nauka. FYZMATLYT, 1971. – 192 p. (in Russian)
4. Volodarskij Ye.T. Korektnist oczinki korelyacziyi, obumovlenoyi postijnim zsuvom rezultativ vimiryuvan / Ye.T. Volodarskij, L.O. Kosheva, O.O. Mishina // Sistemi obrobki informacziyi, 2007, vipusk 6 (64). (in Ukrainian)
5. Stepanishin V.M. Pobudova modeli korelyacziijnogo anali zu dlya dosli dzhennya bagatofaktornikh procesiv i yavishh / V.M. Stepanishin, L.O. Tisovskij // Lviv Polytechnic National

University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>
(accessed 24.07.2020).

6. Hryhorenko I.V. Vyznachennia vzaiemnoi koreliatsii parametriv tekhnolohichnoho protsesu vyhotovlennia hubnoi pomady / I.V. Hryhorenko, M.M. Bozhenko // XXVII Mizhnar. nauk. – prakt. konf.: Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia, tom 2. – Kharkiv, 2019. – P. 8. (in Ukrainian)
7. Arduino Uno – // https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno // (accessed 26.07.2020).
8. Zakharov I.P. Estimating measurement uncertainty on the basis of observed and logical correlation // Measurement Techniques, Vol. 50, No. 8, 2007, p. 808-816.