

УДК 681.518.22

doi:10.20998/2413-4295.2025.01.04

## РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ТА ПЕРЕВІРКА ЇЇ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ МЕТОДОМ ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ

*I. В. ГРИГОРЕНКО\**, *С. М. ГРИГОРЕНКО*, *С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ*, *А. А. ШИБАНОВ*

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

\* e-mail: grigmaestro@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** Представлено розроблену інформаційно-вимірювальну систему для технологічного процесу виготовлення молочного пломбіру, яка може бути використана на підприємствах молочної промисловості та наведено варіант перевірки метрологічної надійності такої системи методом дисперсійного аналізу. Необхідність постійного моніторингу метрологічного стану інформаційно-вимірювальних систем пов'язана із необхідністю забезпечення високою якістю кінцевого продукту, що можливо лише при надійній роботі вимірювальних каналів таких систем. Метрологічна надійність вимірювальних каналів, які забезпечують надходження оперативної інформації про стан технологічного процесу дає можливість дотримуватись технології виробництва і таким чином забезпечувати якість кінцевого продукту. Виробництво молочного пломбіру включає різну кількість етапів технологічного процесу у залежності від рецептури. Основними етапами при виробництві є: перевірка якості сировини для пломбіру, підготовка базової суміші, пастеризація, гомогенізація, охолодження і дозрівання суміші, фризювання, фасування і ґартування морозива. Поставлена задача метрологічного контролю вирішена шляхом використання дисперсійного аналізу результатів вимірювань, що отримані завдяки запропонованій інформаційно-вимірювальній системі. Наведено структурну схему розробленої системи і визначено основні її елементи. Виконано дисперсійний аналіз результатів вимірювання температури на семи основних етапах технології виробництва пломбіру. Аналіз здійснено за допомогою критерію Кохрена. На підставі отриманих експериментальних даних побудовано графіки законів розподілу результатів вимірювання і випадкових похибок вимірювання. Виконано розрахунки сумарної і розширеної невизначеності для некорельованих даних результатів вимірювання температури. Складено бюджет невизначеності. Проведено розрахунки систематичної похибки вимірювання. Впровадження запропонованої інформаційно-вимірювальної системи дає можливість уникати аварійних ситуацій під час виробництва пломбіру та забезпечувати підтримку високої якості продукції.

**Ключові слова:** інформаційно-вимірювальна система; дисперсійний аналіз; сенсор; похибка; невизначеність; вимірювання.

## DEVELOPMENT OF AN INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM AND VERIFICATION OF ITS METROLOGICAL RELIABILITY USING THE METHOD OF DISPERSION ANALYSIS

*I. HRYHORENKO\**, *S. HRYHORENKO*, *S. PLIESNETSOV*, *A. SHIBANOV*

Department of information and measuring technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** The developed information and measuring system for the technological process of manufacturing milk ice cream is presented, which can be used at dairy industry enterprises, and a variant of checking the metrological reliability of such a system by the method of variance analysis is given. The need for constant monitoring of the metrological state of information and measuring systems is associated with the need to ensure high quality of the final product, which is possible only with reliable operation of the measuring channels of such systems. The metrological reliability of the measuring channels, which provide the receipt of operational information about the state of the technological process, makes it possible to adhere to the production technology and thus ensure the quality of the final product. The production of milk ice cream includes a different number of stages of the technological process depending on the recipe. The main stages in production are: checking the quality of raw materials for ice cream, preparation of the base mixture, pasteurization, homogenization, cooling and ripening of the mixture, freezing, packaging and hardening of ice cream. The set task of metrological control is solved by using the analysis of variance of the measurement results obtained thanks to the proposed information and measurement system. The structural diagram of the developed system is given and its main elements are determined. The analysis of variance of the temperature measurement results at the seven main stages of the technology of the production of ice cream is performed. The analysis is carried out using the Cochran criterion. Based on the obtained experimental data, graphs of the laws of distribution of measurement results and random measurement errors are constructed. Calculations of the total and expanded uncertainty for uncorrelated data of temperature measurement results are performed. An uncertainty budget is compiled. Calculations of the systematic measurement error are carried out. The implementation of the proposed information and measurement system makes it possible to avoid emergency situations during the production of ice cream and ensure the maintenance of high product quality.

**Keywords:** information and measurement system; variance analysis; sensor; error; uncertainty; measurement

### Вступ

Основною тенденцією, що визначає розвиток вимірювань у галузі автоматизованого виробництва, є

перехід до автоматичного управління з використанням систем управління та інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) у різних галузях промисловості. Це говорить про те, що сьогодні підтримка стабільності

метрологічних характеристик каналів вимірювань починає стрімко зростати, при цьому враховуються не лише метрологічні характеристики блоків, що входять до складу вимірювального каналу, а й вплив каналів один на одного [1,2].

Необхідність дослідження ІВС пов'язана з тим, що доцільно зменшити вплив оператора на процес виробництва пломбіру для підвищення якості продукції. Протягом усього технологічного процесу виробництва пломбіру потрібно ретельно контролювати основні параметри, а це стає можливим тільки завдяки ІВС, що дає можливість не тільки отримувати інформацію від технологічного процесу, але і впливати на нього з метою уникнення аварійної ситуації. У свою чергу висока якість продукції пов'язана із метрологічною надійністю сенсорі, яку треба постійно контролювати.

Аналіз закордонних публікацій [3-5] показав зростаючу зацікавленість наукової спільноти проблемами забезпечення високої якості морозива.

У роботі [4] зазначено, що якість морозива визначається якістю змішаних інгредієнтів та включень, умовами опрацювання, заморожування, упаковки та умовами обігу та зберігання, що контролюються саме завдяки ІВС. Проблеми забезпечення високої якості сировини для виготовлення пломбіру цікавлять і вітчизняних вчених [6].

В Україні молочний пломбір виробляється згідно вимог ДСТУ 4733-2007 [7], який є діючим стандартом з 2008 року. Підтримка високої якості та стабільності технології виробництва згідно стандарту стає можливою лише при застосуванні ІВС [8].

### Мета роботи

Об'єктом розробки і дослідження є ІВС контролю технології виробництва молочного пломбіру.

Мета роботи – розробка ІВС для контролю основних параметрів технологічного процесу виготовлення пломбіру, а саме: на етапі перевірки якості сировини – температури (+4) °С, рівня рН (6,6...6,8) од. рН; на етапі приготування базової суміші – температури (+4) °С; на етапі пастеризації – температури (+85 °С...+87 °С), рівня рН (6,5...6,7) од. рН, тиску (1,5...2,0) бар; на етапі гомогенізації – температури (+60 °С ... +70 °С), тиску 200 бар; на етапі охолодження та дозрівання – температури (+2 °С...+4 °С), рівня рН (6,4...6,6) од. рН; на етапі фризирования – температури (-5 °С), рівня тиску (1,5...2,0) бар; на етапі остаточного охолодження – температури (+38 °С ...+40 °С). Перевірка метрологічної надійності сенсорів температури завдяки використанню дисперсійного аналізу (критерій Кохрена); побудова законів розподілу результатів і випадкових похибок вимірювання температури. Похибка вимірювання по кожному із каналів не повинна перевищувати 1,5 %.

### Основна частина

Спрощена структурна схема ІВС контролю виробництва пломбіру представлена на рис. 1.

ІВС охоплює сім основних ділянок технологічного процесу. Структура ІВС складається з семи каналів вимірювання температури на кожному з етапів виробництва. Температура вимірюється первинними вимірювальними перетворювачами ПВП 1, ПВП 3, ПВП 4, ПВП 7, ПВП 9; ПВП 12, ПВП 13. Рівень рН вимірюється ПВП 2, ПВП 6, ПВП 10. Тиск вимірюється ПВП 5. ПВП 8, ПВП 11. Інформація про величину, що вимірюється, надходить до мікроконтролера по шині даних. Мікроконтролер необхідний для обробки вимірювальної інформації, керування інформацією, забезпечення обміну даними між окремими частинами схеми та зовнішніми пристроями. Він також передає інформацію для відображення на цифровому відліковому пристрої (ЦВП) та передає її до комп'ютера (ЕОМ) по інтерфейсу (ІФ). ІФ призначений для обміну даними із зовнішніми пристроями, зокрема з ЕОМ та програмування мікроконтролера. Цифровий відліковий пристрій (ЦВП) необхідний для відображення інформації. Робота системи починається з підключити ІВС до джерела живлення. Першим кроком є початкове налаштування мікроконтролера. Відповідно до алгоритму опитування, який реалізує мікроконтролер виконується вибір вимірювального каналу й очікування готовності даних про величину, що контролюється. Інформація про поточне значення параметра контролю надходить в оперативну пам'ять мікроконтролера. Мікроконтролер порівнює отримані значення фізичної величини, що контролюється з уставкою, що записана у його постійній пам'яті при програмуванні. Отриманий результат порівняльного аналізу відправляється мікроконтролером через інтерфейс до ЕОМ. ЕОМ, за необхідністю вмикає виконавчі пристрої за для уникнення аварійної ситуації і підтримки стабільності технологічного процесу. Поточне значення вимірюваної величини передається мікроконтролером на ЦВП для візуального відображення інформації оператору. Цикл повторюється знову. Якщо потрібно зробити новий вимір, вертаємося до вибору вимірювального каналу. Якщо необхідно припинити роботу приладу, то вимикається живлення.

На рис.2 та рис.3 представлено графіки вимірювання температури на етапах виробництва пломбіру.

Оскільки температурний контроль здійснюється у різних умовах, виникає задача порівняння точності вимірювань. Тобто стає задача порівняння точності температурних датчиків, які працюють на різних етапах технологічного процесу. Важливість цієї задачі доводиться тим, що довірчі інтервали для середньоквадратичних похибок є доволі широкими. Поставлену задачу доцільно вирішувати використанням дисперсійного аналізу [9,10], який дає можливість проводити порівняння дисперсій з подальшим виділенням більшої дисперсії із багатьох.

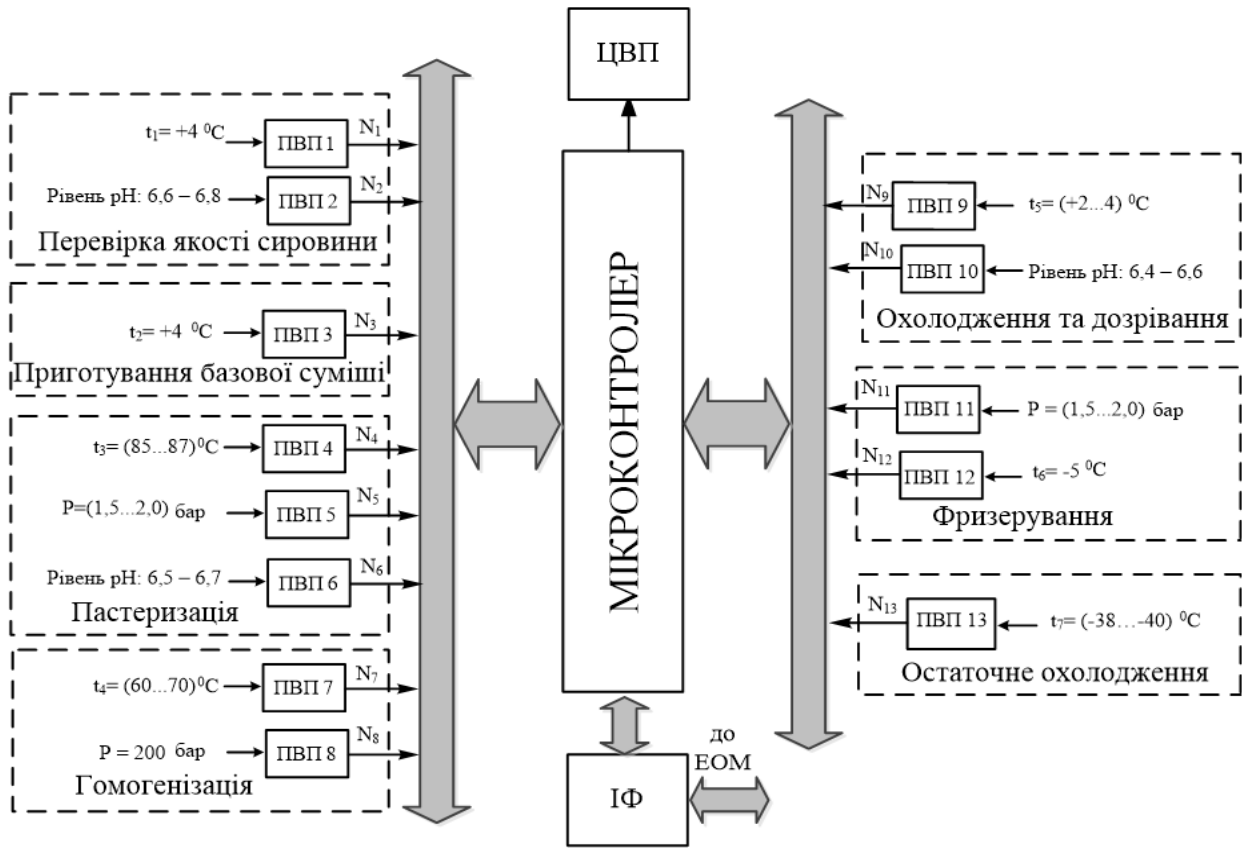


Рис. 1 – Структурна схема системи контролю виготовлення пломбіру

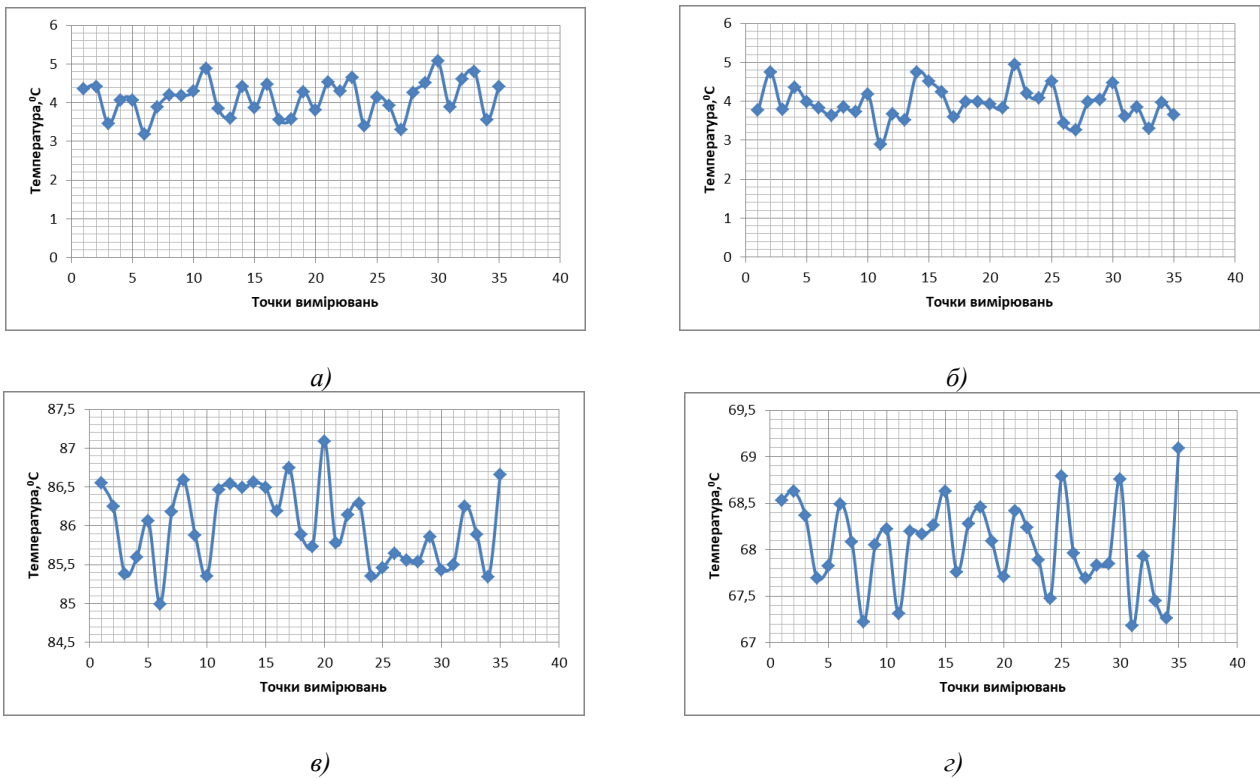
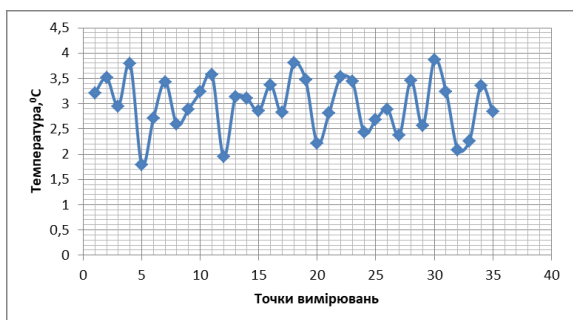


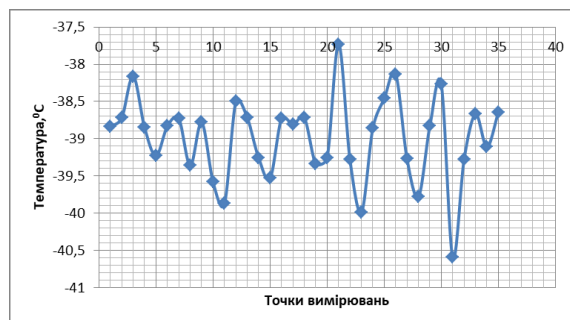
Рис. 2 – Графіки вимірювання температури на етапах виробництва пломбіру: а) перевірка якості сировини; б) приготування базової суміші; в) пастеризація; г) гомогенізація



а)



б)



в)

Рис. 3 – Графіки вимірювання температури на етапах виробництва пломбіру :а) охолодження та дозрівання; б) фризювання; в) остаточне охолодження

Під час перевірки однорідності дисперсій трьох і більше вибірок найчастіше застосовується тест (критерій) Кохрена [8]. Критерій вимагає однакової кількості експериментів у кожній вибірці.

Задача полягає у тому, щоб з'ясувати, можливо чи ні вважати відмінність більшої з отриманих дисперсій від інших випадковим явищем, або цю відмінність слід вважати суттєвою (значущою). Для вирішення поставленої задачі виконано кожним із  $m = 7$  датчиків однакова кількість вимірювань ( $n = 35$ ). Далі виконуються розрахунки емпіричних дисперсій  $\sigma_1^2 \dots \sigma_7^2$  та порівнюємо найбільшу з отриманих дисперсій із сумою усіх дисперсій за формулою

$$G = \frac{\sigma_{max}^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2 + \sigma_7^2} \cdot \quad (1)$$

Якщо отримане значення (1) виявиться більшим за критичне значення, що отримано із таблиць тест (критерія) Кохрена, відповідно до встановленого рівня значущості  $\alpha$ , тоді відмінність максимальної за величиною дисперсії від інших є суттєвим і датчик вважається метрологічна ненадійним і його треба замінити.

Незміщену точкову оцінку дисперсії результатів багаторазових вимірювань температури на ділянках технологічного процесу виготовлення пломбіру визначено за формулою

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2. \quad (2)$$

На підставі формули (2) отримані наступні значення дисперсій на етапах технологічного процесу:

- перевірка якості сировини  $\sigma_1^2 = 0,22 (C^0)^2$ ;
- приготування базової суміші  $\sigma_2^2 = 0,19 (C^0)^2$ ;
- пастеризація  $\sigma_3^2 = 0,26 (C^0)^2$ ;
- гомогенізація  $\sigma_4^2 = 0,23 (C^0)^2$ ;
- охолодження та дозрівання  $\sigma_5^2 = 0,29 (C^0)^2$ ;
- фризювання  $\sigma_6^2 = 0,16 (C^0)^2$ ;
- остаточне охолодження  $\sigma_7^2 = 0,34 (C^0)^2$ .

Відповідно до формули (1) значення суми всіх дисперсій дорівнює

$$G = \frac{0,34}{0,22 + 0,19 + 0,26 + 0,23 + 0,29 + 0,16 + 0,34} = 0,201 \cdot$$

Критичне значення відхилення  $G$  при довірчій імовірності 0,95 визначено за таблицею  $G$ -розподілу Кохрена [8]  $G_{кр} = 0,228$ .

$$G_{кр} = 0,228 > G = 0,201.$$

Отримане значення  $G$  виявилось меншим за критичне значення  $G_{кр}$ , відповідно до встановленого рівня значущості  $\alpha = 0,05$ , отже відмінність максимальної за величиною дисперсії  $\sigma_7^2 = 0,34$  від інших є несуттєвою і датчик вважається метрологічна надійним.

Складання бюджету невизначеності по каналах вимірювання температури починається із розрахунку стандартних невизначеностей вхідних величин за типами  $A$  та  $B$ .

Стандартна невизначеність результатів вимірювань за типом *A* вхідної величини  $x_i$  розраховується за формулою [8, 11]

$$u_A(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}, \quad (3)$$

де  $n_i$  – кількість спостережень проведених при вимірюванні  $x_i$ .

Стандартна невизначеність за типом *B* вхідної величини залежить від апріорної інформації про мінливість вхідної величини. Якщо  $i$ -та вхідна величина є невиключеною систематичною похибкою із межами  $\pm\theta_i = \pm(b-a)$ , де  $a$  і  $b$  – ліва та права границі розподілу відповідно, то її невизначеність розраховується за формулою [10]

$$u_B(x) = \frac{b-a}{\alpha_i}, \quad (4)$$

де  $\alpha_i$  – коефіцієнт, що відповідає прийнятому закону розподілу у середині меж невиключеної систематичної похибки  $\pm\theta_i = \pm(b-a)$  [11].

При відсутності кореляції між вхідними величинами сумарна стандартна невизначеність вихідної величини може бути визначена [11]

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)} = \sqrt{c_1^2 u^2(x_1) + c_2^2 u^2(x_2) + \dots + c_n^2 u^2(x_n)}.$$

Розширену невизначеність одержують шляхом множення невизначеності вихідної величини (сумарної стандартної невизначеності) на коефіцієнт охоплення [11]

$$U(y) = k \cdot u_c(y), \quad (5)$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення;  $u_c(y)$  – сумарна стандартна невизначеність.

Коефіцієнт охоплення  $k$  знаходять на основі розподілу Стюдента для ймовірності 0,95 та ефективного числа ступенів вільності  $\nu_{eff}$  [11].

$$k = t_{0,95}(\nu_{eff}), \quad (6)$$

де  $\nu_{eff}$  – ефективне число ступенів вільності. При  $\nu_{eff} \rightarrow \infty, k = 2$  (при нормальному законі і  $P = 0,95$ ).

Ефективне число ступенів вільності визначається за формулою Велча-Саттерсвейта [11]

$$\nu_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}}, \quad (7)$$

де  $\nu_i$  – число ступенів вільності  $i$ -ї вхідної величини.

Для даного випадку обробки даних від ІВС маємо справу із серіями прямих багаторазових вимірювань із числом спостережень  $n = 35$ , тоді формула (7) записується у вигляді [11]

$$\nu_{eff} = (n-1) \frac{u_c^4(y)}{u_A^4(y)}. \quad (8)$$

Результати розрахунків невизначеностей представлені у табл.1.

Закони розподілу похибки вимірювання температури представлені на рис. 4.

Загальна похибка вимірювання представленої ІВС складається із урахуванням похибок окремих компонентів вимірювальних каналів, а також інших елементів, таких як засоби обробки, передачі і відображення інформації. Похибка обробки і передачі інформації мікроконтролером є незначною у порівнянні із похибками сенсорів і АЦП, тому їх не враховано у загальній формулі. Число складових сумарної похибки не більше двох, тому відповідно до [12] при довірчій ймовірності  $P = 0,95$  формула сумарної похибки має вигляд

$$\delta_\Sigma = 1,1 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N \delta_i^2},$$

де  $N$  – кількість складових загальної похибки;  $\delta_i$  – значення складової сумарної похибки;  $k_{0,95} = 1,1$  – коефіцієнт, що залежить від довірчої ймовірності ( $P = 0,95$ ) та числа складових сумарною похибки (дві складові) [12].

Таблиця 1 – Бюджет невизначеності

Вимірювана величина, °C	Вимірне значення, °C	Невизначеність за типом <i>A</i> , °C	Невизначеність за типом <i>B</i> , °C	Сумарна стандартна невизначеність, °C	Розширена невизначеність, °C
$t_1$	3,97	$u_A(t_1) = 0,079$	$u_B(t) = 0,25$ °C	$u_c(t_1) = 0,26$	$U(t_1) = 0,52$
$t_2$	3,94	$u_A(t_2) = 0,075$		$u_c(t_2) = 0,36$	$U(t_2) = 0,72$
$t_3$	85,99	$u_A(t_3) = 0,086$		$u_c(t_3) = 0,26$	$U(t_3) = 0,52$
$t_4$	68,10	$u_A(t_4) = 0,081$		$u_c(t_4) = 0,26$	$U(t_4) = 0,52$
$t_5$	2,98	$u_A(t_5) = 0,092$		$u_c(t_5) = 0,27$	$U(t_5) = 0,54$
$t_6$	-5,00	$u_A(t_6) = 0,067$		$u_c(t_6) = 0,25$	$U(t_6) = 0,50$
$t_7$	-38,99	$u_A(t_7) = 0,098$		$u_c(t_7) = 0,268$	$U(t_7) = 0,54$
Ефективне число ступенів вільності		$\nu_{eff} \rightarrow \infty$			
Коефіцієнт охоплення		$k = 2$			

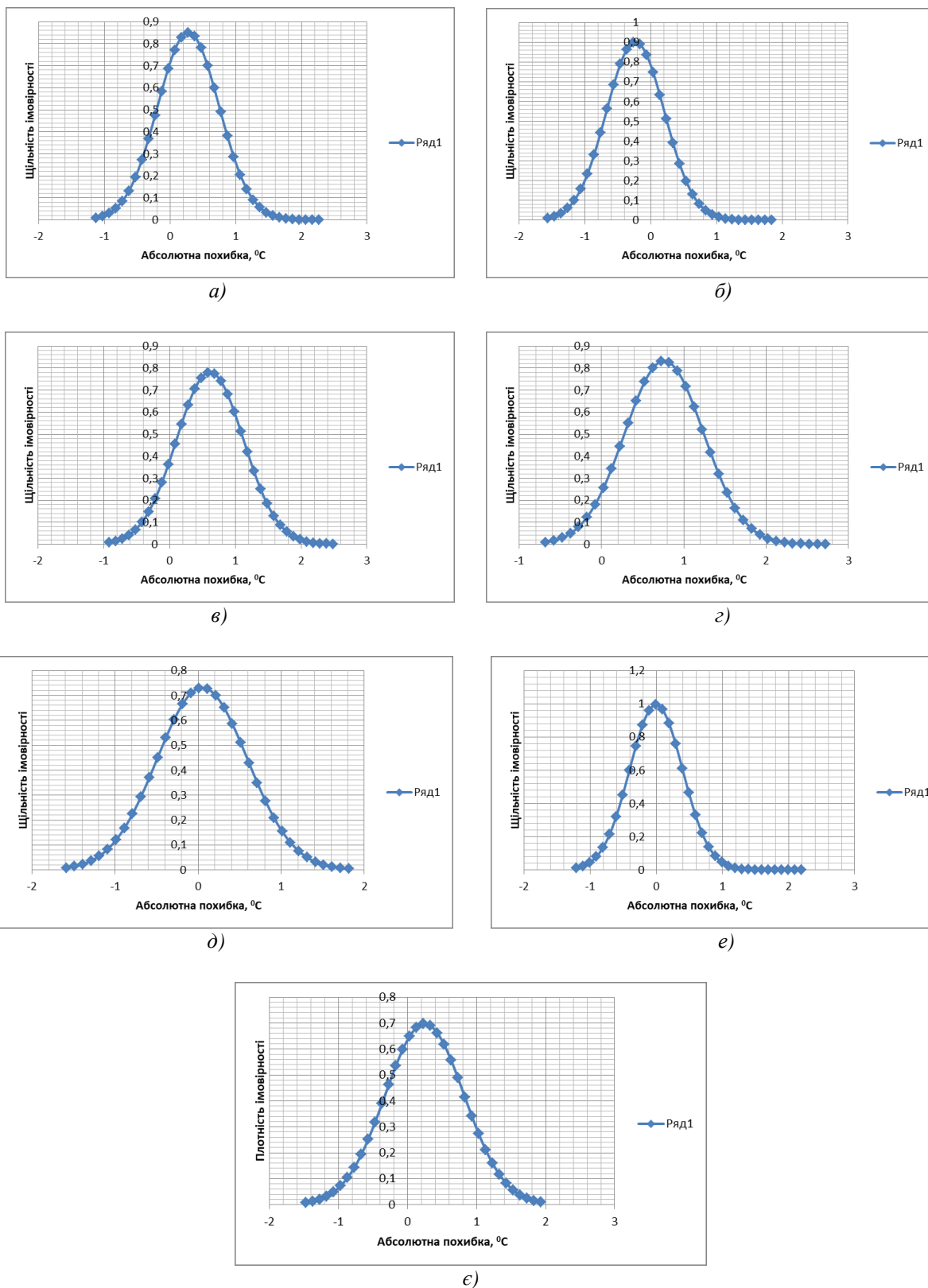


Рис. 4 – Закон розподілу похибки вимірювання температури на етапах: а) перевірка якості сировини; б) приготування базової суміші; в) пастеризація; г) гомогенізація; д) охолодження та дозрівання; е) фризеравання; з) остаточне охолодження

Похибка сенсора температури, що використаний у представленій системі на всіх етапах виробництва (DS18B20-3M-TUBE-IP67) становить  $\pm 0,5$  °C.

Похибка сенсора InPro3100 / 120 / PT100 становить  $\pm 1,0$  % рН.

Похибка сенсора рівня тиску DMP 333i становить  $\pm 0,1$  % відносно похибки вимірювання.

Похибка убудованого у ATmega16 АЦП становить 0,1 %.

Сумарна похибка каналу вимірювання тиску

$$\delta_{\Sigma P} = \pm 1,1 \cdot \sqrt{0,1^2 + 0,1^2} = \pm 0,16 \%$$

### Висновки

Розроблена структурну схему ІВС для технологічного процесу виробництва молочного пломбіру. Проведено дисперсійний аналіз спостережень по каналах вимірювання температури технологічного процесу з метою визначення метрологічної надійності сенсорів температури. Отримано сім серій результатів спостережень за зміною температури по тридцять п'ять результатів у серії з семи каналів, побудовано графіки зміни параметру контролю у часі. Побудовано графіки законів розподілу випадкових похибок вимірювання на підставі отриманих даних. Перевірку однорідності дисперсій семи вибірок проведено за допомогою критерію Кохрена, що довів метрологічну надійність сенсорів температури.

Виконано розрахунки сумарної та розширеної невизначеності для некорельованих даних результатів вимірювання температури. Складено бюджет невизначеності.

Розрахунки похибок вимірювальних каналів ІВС для виробництва пломбіру довели, що жодна з похибок не перевищує встановлене у технічному завданні значення в 1,5 %.

### Список літератури

1. Obidov Jamshidbek. Metrological support of information measurement systems. *The american journal of engineering and technology*. 2024. Vol. 6(9). P. 34–37. doi: 10.37547/tajet/Volume06Issue09-05.
2. Yusifov Salahaddin, Mayilov Rauf, Mehdiyeva Almaz, and Mehdizade Elnar. Advanced Information-Measuring System for the Improvement of the Quality Indicators of Metrological Characteristics. *E3S Web Conf. Volume 474, 2024 X International Annual Conference «Industrial Technologies and Engineering» (ICITE 2023)*. doi: 10.1051/e3sconf/202447402003.
3. Yang Y. Methods of Reducing Fat Content in Ice Cream and their Influences on Flavor of Ice Cream. *Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences*. 2024. Vol. 4. P. 7–10. doi: 10.62051/10b1a158.
4. Hudson E. A., de Souza L. B., de Paula Rezende J., dos Santos Pires A. C. Ice Cream and Frozen Yogurt. In: Gomes da Cruz A., Colombo Pimentel T., Esmerino E.A., Verruck S. (eds). *Dairy Foods Processing. Methods and Protocols in Food Science*. Humana, New York, NY. 2025, pp. 277–291, doi: 10.1007/978-1-0716-4144-6\_19.

5. Alvarez V. B. Ice Cream and Frozen Desserts. In: Clark S., Drake M., Kaylegian K. (eds) *The Sensory Evaluation of Dairy Products*. Springer, Cham. 2023. P. 281–344. doi: 10.1007/978-3-031-30019-6\_10.
6. Kucheruk V., Kulakov P., Storozhuk N. Measurement of the Number Servings of Milk and Control of Water Content in Milk on Stall Milking Machines. In: Szweczyk, R., Kaliczynska, M. (eds) *Recent Advances in Systems, Control and Information Technology. SCIT 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017. Vol 543. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-48923-0\_46.
7. ДСТУ 4733-2007 Морозиво молочне, вершкове, пломбір. Загальні технічні умови. Чинний від 01.01.2008. Київ: Видання офіційне. 2007. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=73298/27.01.2025](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=73298/27.01.2025).
8. Григоренко І. В., Кондрашов С. І., Григоренко С. М. *Інформаційно-вимірювальні технології та системи : навчальний посібник*. Харків. Видавництво: «Факт», 2023. 254 с.
9. Yefymenko S., Hryhorenko I., Hryhorenko S. Dispersion Analysis In Colorimetric Control. *Український метрологічний журнал*. Харків, 2023. № 2. С. 28–32. doi: 10.24027/2306-7039.2.2023.286715.
10. Григоренко І. В., Кондрашов С. І., Григоренко С. М., Опришкін О. С. Дослідження факторного впливу на однорідність помелу зерна кави методами статистичного аналізу. *Системні дослідження та інформаційні технології*. Київ: НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського. 2024. № 2. С. 137–149. doi: 10.20535/SRIT.2308-8893.2024.2.10.
11. Zakharov I., Neyezhmakov P., Botsiura O. Expanded Uncertainty Evaluation Taking into Account the Correlation Between Estimates of Input Quantities. *Ukrainian Metrological Journal*. 2021. No 1. P. 4–8. doi: 10.24027/2306-7039.1.2021.228134.
12. Чинков В. М. *Основи метрології та вимірювальної техніки*. Харків: НТУ «ХПІ», 2005. 524 с.

### References (transliterated)

1. Obidov Jamshidbek. Metrological support of information measurement systems. *The american journal of engineering and technology*, 2024, vol. 6(9), pp. 34–37, doi: 10.37547/tajet/Volume06Issue09-05.
2. Yusifov Salahaddin, Mayilov Rauf, Mehdiyeva Almaz., and Mehdizade Elnar. Advanced Information-Measuring System for the Improvement of the Quality Indicators of Metrological Characteristics. *E3S Web Conf. Volume 474, 2024 X International Annual Conference «Industrial Technologies and Engineering» (ICITE 2023)*, doi: 10.1051/e3sconf/202447402003.
3. Yang Y. Methods of Reducing Fat Content in Ice Cream and their Influences on Flavor of Ice Cream. *Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences*, 2024, vol. 4, pp. 7–10, doi: 10.62051/10b1a158.
4. Hudson E. A., de Souza L. B., de Paula Rezende J., dos Santos Pires A. C. Ice Cream and Frozen Yogurt. In: Gomes da Cruz A., Colombo Pimentel T., Esmerino E.A., Verruck S. (eds). *Dairy Foods Processing. Methods and Protocols in Food Science*. Humana, New York, NY. 2025, pp. 277–291, doi: 10.1007/978-1-0716-4144-6\_19.
5. Alvarez V. B. Ice Cream and Frozen Desserts. In: Clark S., Drake M., Kaylegian K. (eds). *The Sensory Evaluation of*

- Dairy Products*. Springer, Cham, 2023, pp. 281–344, doi: 10.1007/978-3-031-30019-6\_10.
6. Kucheruk V., Kulakov P., Storozhuk N. Measurement of the Number Servings of Milk and Control of Water Content in Milk on Stall Milking Machines. In: Szewczyk, R., Kalicyńska, M. (eds) Recent Advances in Systems, Control and Information Technology. SCIT 2016. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017, vol 543. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-48923-0\_46.
  7. DSTU 4733-2007 Morozyvo molochne, vershkovе, plombir. Zahal'ni tekhnichni umovy. Chynnyy vid 01.01.2008. Kyiv: Vydannya ofitsiynе. 2007. Available at: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=73298/27.01.2025](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=73298/27.01.2025).
  8. Hryhorenko I. V., Kondrashov S. I., Hryhorenko S. M. *Informatsiyno-vymiryvalni tekhnolohiyi ta systemy : navchalnyy posibnyk*. Kharkiv. Vydavnytstvo «Fakt», 2023. 254 p.
  9. Yefymenko S., Hryhorenko I., Hryhorenko S. Dispersion Analysis In Colorimetric Control. *Ukrayinskyi metrolohichnyy zhurnal*, 2023, 2, pp. 28–32, doi: 10.24027/2306-7039.2.2023.286715.
  10. Hryhorenko I. V., Kondrashov S. I., Hryhorenko S. M., Opryshkin O. S. Doslidzhennya faktornoho vplyvu na odnoridnist' pomelu zerna kavy metodamy statystychnoho analizu. *Systemni doslidzhennya ta informatsiyni tekhnolohiyi*. Kyiv. NTUU «KPI» im. Ihorya Sikors'koho, 2024, 2, pp. 137–149, doi: 10.20535/SRIT.2308-8893.2024.2.10.
  11. Zakharov I., Neyezhnikov P., Botsiura O. Expanded Uncertainty Evaluation Taking into Account the Correlation Between Estimates of Input Quantities. *Ukrainian Metrological Journal*, 2021, No 1, pp. 4–8, doi: 10.24027/2306-7039.1.2021.228134.
  12. Chynkov V. M. *Osnovy metrolohii ta vymiryvalnoi tekhniki*. Kharkiv. NTU «KhPI», 2005. 524 p.

#### Відомості про авторів (About authors)

**Ігор Володимирович Григоренко** – доктор технічних наук, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-4905-3053; e-mail: [grigmaestro@gmail.com](mailto:grigmaestro@gmail.com).

**Ігор Хригоренко** – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of information and measuring technologies National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-4905-3053; e-mail: [grigmaestro@gmail.com](mailto:grigmaestro@gmail.com).

**Григоренко Світлана Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-0150-4844; e-mail: [sngloba@gmail.com](mailto:sngloba@gmail.com).

**Світлана Хригоренко** – PhD, Associate Professor Department of automation of technological systems and environmental monitoring National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0150-4844; e-mail: [sngloba@gmail.com](mailto:sngloba@gmail.com).

**Плеснецов Сергій Юрійович** – доктор технічних наук, доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-8428-5426; e-mail: [Serhii.Pliesnetsov@khp.edu.ua](mailto:Serhii.Pliesnetsov@khp.edu.ua).

**Serhii Pliesnetsov** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Department of information and measuring technologies National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-8428-5426; e-mail: [Serhii.Pliesnetsov@khp.edu.ua](mailto:Serhii.Pliesnetsov@khp.edu.ua).

**Шибанов Артем Андрійович** – магістр-науковець кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; e-mail: [artem.shibanov@infiz.khp.edu.ua](mailto:artem.shibanov@infiz.khp.edu.ua)

**Shibanov Artem** – magistr of the Department of information and measuring technologies National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: [artem.shibanov@infiz.khp.edu.ua](mailto:artem.shibanov@infiz.khp.edu.ua).

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

Григоренко І. В., Григоренко С. М., Плеснецов С. Ю., Шибанов А. А. Розробка інформаційно-вимірювальної системи та перевірка її метрологічної надійності методом дисперсійного аналізу. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». 2025. № 1 (23). С. 32-39. doi:10.20998/2413-4295.2025.01.04.

*Please cite this article as:*

Hryhorenko I., Hryhorenko S., Pliesnetsov S., Shibanov A. Development of an information and measurement system and verification of its metrological reliability using the method of dispersion analysis. *Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2025, no. 1 (23), pp. 32–39, doi:10.20998/2413-4295.2025.01.04.

*Надійшла (received) 03.02.2025  
Прийнята (accepted) 10.03.2025*