

Шантир Д. С.

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ ДИСКРЕТНИХ РЕЧОВИН В ПОТОЦІ

Розглянуто задачу дослідження структурних властивостей вимірювального сигналу при оцінці параметрів дискретних речовин в потоці з метою отримання вимірювальної інформації про якість цих речовин. Запропоновано та теоретично досліджено метод підвищення точності оцінки параметрів дискретних речовин в потоці. Складено узагальнені структурні схеми реалізації та визначено метрологічні характеристики запропонованого методу.

Ключові слова: структурний аналіз, спектральний аналіз, інформаційно-вимірювальні системи.

1. Вступ

Задача оцінювання параметрів дискретних речовин в потоці виникає під час контролю їх стану при здачі, прийманні або тривалому зберіганні у великих об'ємах. На сьогодні найбільш широко використовується технологія визначення основних параметрів речовин за кількома пробами, що вибрані з всієї маси. Основним недоліком такої технології є запізнення у часі результатів вимірювань відносно моменту взяття проби, а також можливість неоднорідної зміни контрольованих показників якості речовин у загальній масі. Отже, у разі здачі і приймання речовин більш перспективним є вимірювання їх параметрів в потоці. Виробничим прикладом, де може застосовуватись відповідна проблемно-орієнтована інформаційно-вимірювальна система, є контроль та моніторинг параметрів якості та складу піску при виробництві будівельних матеріалів (цемент, цегла, шмотні маси та ін.). Іншим прикладом може бути вимірювання параметрів зміни якості зерна при тривалому зберіганні на елеваторах.

Цим обґрунтовується актуальність проведеного дослідження.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Інформаційно-вимірювальні системи, що вирішують задачу оцінки параметрів дискретних речовин в потоці, в якості інформативних можуть оцінювати один або кілька параметрів W . При цьому вимірювальними величинами α , в залежності від методу вимірювання та первинного перетворювача, відповідно є функції часу від інформативних параметрів W та неінформативних параметрів N , які обумовлюють появу систематичних та випадкових похибок вимірювання.

З аналізу літератури можна зробити висновок, що у системах контролю якості дискретних речовин в потоці, залежно від методу вимірювання, інформативними є параметри таких фізичних величин, як діелектрична проникність, загасання потужності надвисокочастотного потоку або питома вага речовини [1–3]. Параметрами якості, які при цьому підлягають контролю або впливають на результат вимірювання, можуть бути вологість, температура та натура (зернистість, неоднорідність) речовини.

Для досліджень в даній статті покладемо, що в межах технологічних допусків на основні параметри W та N , рівняння вимірювання фізичної величини α є лінійним. Тоді систематична похибка може бути скомпенсована шляхом введення відповідної поправки. Щоб мінімізувати випадкову похибку, яка здебільшого викликана неоднорідністю речовини в потоці та може мати вагомий вплив на результат вимірювання, необхідно застосовувати статистичні методи.

3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — процес обробки результатів вимірювання параметрів дискретних речовин в потоці.

Метою досліджень є розробка методу підвищення точності оцінки параметрів дискретних речовин в їх потоці, чутливого до малих відносних змін структури відповідного вимірювального сигналу при відхиленні значень параметрів від норми, що дозволяє виявити ознаки виникнення незворотних процесів і проаналізувати тенденції їх розвитку у часі.

Для досягнення мети поставлено та вирішено наступні задачі:

- визначення моделі структури вимірювального сигналу та розробка оптимального, за критерієм мінімуму середньоквадратичного відхилення, методу її аналізу;
- визначення метрологічних характеристик розробленого методу.

4. Модель та метод дослідження вимірювального сигналу

Проведемо дослідження на прикладі вимірювання вологості сипучої речовини (інформативний параметр W), що лінійно пов'язана з температурою та натурою речовини (параметри t° , N) деякою функцією $\alpha(W, t^\circ, N)$. Оскільки вимірювання виконується в потоці, то фізичні величини, отримані в результаті первинних перетворень відповідними датчиками, є функціями часу t , тобто $\alpha(t)$, $t^\circ(t)$, $N(t)$.

На результат вимірювання впливають наступні чинники:

- дискретність потоку речовини, викликана окремими частинками;

- неоднорідність вологості речовини в потоці (параметрична неоднорідність);
- неоднорідність потоку (технологічна неоднорідність);
- послідовний монтаж датчиків створює зміщення у часі.

Виходячи з цього, для кожного з всіх первинних вимірювальних сигналів можна встановити наступні структурні складові:

- 1) закономірна складова, яка враховує:
 - вологість речовини;
 - кількісну неоднорідність, зумовлену натурою і температурою речовини;
- 2) випадкова низькочастотна складова, яка враховує:
 - параметричну неоднорідність;
 - технологічну неоднорідність;
- 3) випадкова високочастотна (флуктуаційна) складова, яка враховує:
 - дискретність потоку речовини, викликану окремими частинками;
 - шум аналого-цифрового перетворювача вимірювального каналу.

Кількісна неоднорідність компенсується шляхом введення поправок, що отримуються з датчика температури і натури. Параметрична неоднорідність вимірюється і подається як характеристика однорідності всієї маси речовини, яка впливає на значення вологості.

Таким чином, основна задача вимірювання зводиться до оцінки інформативних параметрів, які містяться в закономірній складовій, на фоні статистичної моделі структури випадкових складових: низькочастотний шум, флуктуаційний шум.

Для оцінки інформативних параметрів та їх статистик, відповідно до розробленої моделі пропонується

схема, наведена на рис. 1. Вона може працювати у наступних режимах:

- при заданому об'ємі вибірки N ,
 - при заданому часі вимірювання T ,
 - при заданій точності вимірювання $\Delta \alpha (P_{\text{дов}})$,
- та забезпечує оптимальний, за критерієм середньоквадратичного відхилення, результат оцінювання.

Початковими даними для роботи схеми крім фізичного процесу $\alpha(t)$ є:

- апіорний розподіл вимірюваного параметру $p(\alpha)$,
- функція втрат $r(\alpha, \hat{\alpha})$,
- довірча імовірність оцінки $P_{\text{дов}}$,
- рівень значущості q .

Вихідними даними схеми є:

- вибіркова оцінка $\hat{\alpha}$,
- вибіркового довірчий інтервал $\Delta \alpha (P_{\text{дов}})$,
- вибіркова апостеріорна щільність розподілу ймовірностей $p(\alpha | \mathbf{Y})$.

Вибіркове середнє обчислюється за формулою:

$$\bar{\alpha} = \int_{\{\alpha\}} \alpha p(\alpha | \mathbf{Y}) da$$

Вибірковий довірчий інтервал визначається за відомими методиками [4, 5].

Вибіркова апостеріорна щільність розподілу ймовірностей визначається по формулі Байеса:

$$p(\alpha | \mathbf{Y}) = \frac{p(\alpha)l(\alpha)}{\int p(\alpha)l(\alpha)da}$$

де $l(\alpha) = p(\mathbf{Y} | \alpha)$ — функція правдоподібності $l(\alpha) p(\mathbf{Y} | \alpha)$.

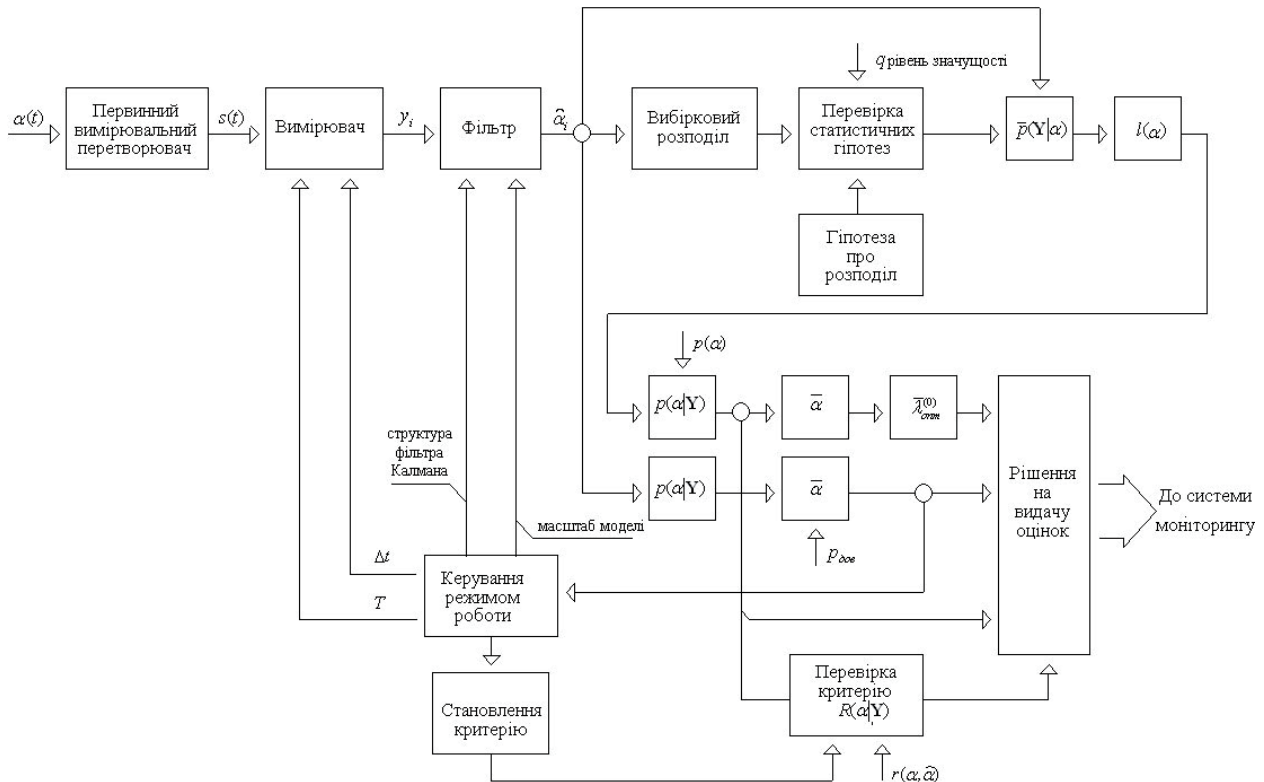


Рис. 1. Схема для оцінки інформативних параметрів досліджуваного фізичного процесу та їх статистик

Основна функція – визначення елементів множини $\{\hat{\alpha}_i \text{ опт} = F(\hat{\alpha}_i; y_i, \dots, y_i)\}$, реалізується за методом фільтрації Калмана, що і забезпечує отримання оптимальних оцінок в значенні критерію мінімуму середньоквадратичної похибки [6, 7].

Запропонована схема є базовим елементом методу підвищення точності оцінки параметрів дискретних речовин в потоці, та реалізується у пристрої обробки вимірювальної інформації проблемно-орієнтованої інформаційно-вимірювальної системи (ІВС).

Узагальнена структурна схема ІВС вологості сипучої речовини в потоці наведена на рис. 2. На схемі позначено: Д – датчик; ВК – вимірювальний канал; 1, 2, 3 – компенсатори флуктуаційної складової N ; 4, 5 – формувач поправок на температуру і температуру; 6 – компенсатор кількісної неоднорідності; 7 – компенсатор параметричної неоднорідності; 8 – індикатор результату вимірювання (m – математичне очікування, σ^2 – дисперсія).

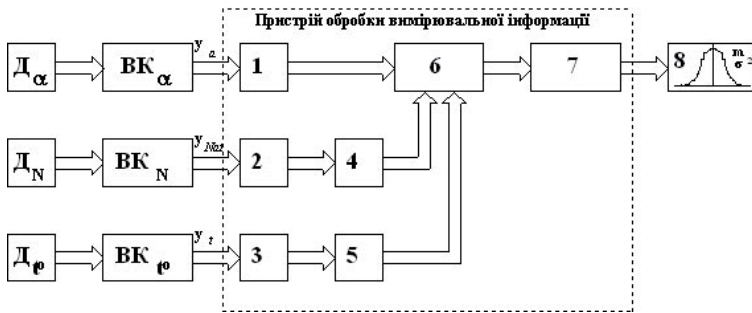


Рис. 2. Структурна схема ІВС вологості сипучої речовини в потоці

Принцип роботи схеми (рис. 2) наступний.

Процеси $\alpha(t)$, $t^\circ(t)$, $N(t)$, отримані внаслідок первинного перетворення з датчика надходять на вхід відповідного вимірювального каналу, де зазнають попередньої обробки та кодуються. Внаслідок чого на виході ВК отримуємо вимірювальні сигнали з наведеною вище структурою. Оскільки вимірювання проводиться в безперервному потоці, то виникає необхідність отримання результату в реальному масштабі часу. В якості критерію точності результату вимірювання приймемо мінімум середньоквадратичної похибки. Тоді пристрій обробки вимірювальної інформації повинен виконувати функцію оптимального вимірювача (фільтра). Компенсатори флуктуаційної складової (1, 2, 3) призначені для виключення впливу високочастотної випадкової складової. Формувачі 4 і 5 – формують поправки на температуру і температуру, згідно з типом застосованого датчика, для врахування зміщення процесів $t^\circ(t)$, $N(t)$ у часі. Ці поправки враховуються на компенсаторі 6. Таким чином, на компенсатор 7 надходить величина пропорційна вологості, яка має параметричну неоднорідність. Результат вимірювання представляється у вигляді оцінок параметрів випадкового процесу m та σ^2 .

Один з можливих варіантів реалізації пристрою обробки інформації ІВС вологості сипучої речовини в потоці подано на рис. 3.

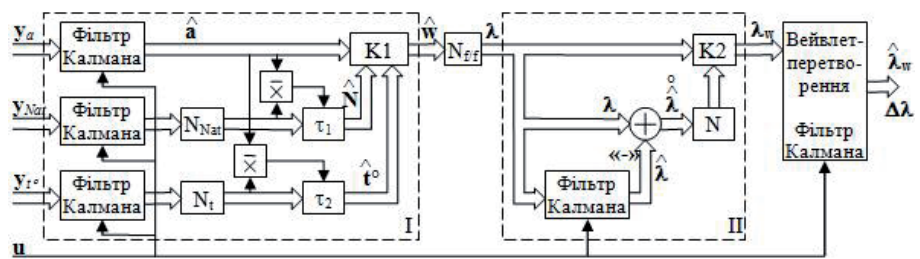


Рис. 3. Варіант реалізації пристрою обробки вимірювальної інформації

Принцип роботи пристрою (рис. 3) наступний.

Пристрій включає в себе два блоки: блок оцінки і компенсації кількісної неоднорідності (I) і блок оцінки і компенсації параметричної неоднорідності (II). На вхід блоку I надходять дані про вологість, температуру і температуру речовини (y_α – послідовність відліків вимірювального сигналу з датчика α ; y_{Nat} – послідовність відліків вимірювального сигналу з датчика N ; y_{t° – послідовність відліків вимірювального сигналу з датчика t°).

5. Результати досліджень метрологічних характеристик запропонованого методу

За допомогою фільтра Калмана (ФК) обчислюються оптимальні оцінки інформативних параметрів фізичної величини ($\hat{\alpha}$), що вимірюється, значення температури і температури. При цьому мінімізується випадкова складова похибка вимірювання, яка вноситься дискретністю потоку зерна і шумами вимірювального каналу.

Оптимальний вибір порядку алгоритму фільтрації проводиться з урахуванням даних результатів досліджень, наведених в табл. 1 та табл. 2.

Поправки (\hat{N} , \hat{t}°), що виключають кількісну неоднорідність на компенсаторі K_1 знаходяться за допомогою пристрою обчислення поправки на температуру (N_{Nat} та N_t , відповідно) згідно з типом датчика, який застосовується. Для приведення результату вимірювання до одного загального моменту часу введені керовані компенсатори часового зміщення:

$$\tau_1 = \arg \max_{\{\tau\}} \overline{\alpha^*(t)t^\circ(t-\tau)},$$

$$\tau_2 = \arg \max_{\{\tau\}} \overline{\alpha^*(t)N^*(t-\tau)}.$$

На виході компенсатора K_1 маємо вектор \hat{W} оцінок параметрів вимірювального сигналу після компенсації кількісної неоднорідності. Він несе інформацію про детерміновану складову величини вологості і характеристики однорідності щільності потоку речовини (про параметри низькочастотної складової вимірювального сигналу). На вхід блоку II надходить λ – невідомий вектор параметрів процесу зміни вологості в потоці $\hat{W}[\lambda(t), t]$. Зміну λ можна змоделювати як низькочастотний шум (що має постійний рівень або лінійний

тренд). Для знаходження вектора параметрів вологості (λ_w) вплив низькочастотного шуму компенсується на компенсаторі K_2 . Обчислюються оцінки параметрів однорідності речовини, укладені у векторі $\hat{\lambda}$. Для досягнення кращого результату вектор λ формується шляхом підвищення відношення частоти низькочастотної складової сигналу до частоти дискретизації у порівнянні з \bar{W} . Для цього призначений пристрій завдання відносних частот в залежності від діапазону вимірювання вологості ($N_{f/f}$). При цьому спектральні складові λ попадають на лінійну ділянку частотної характеристики ланцюга ФК – Δ (де Δ – дискримінатор). Обчислені центровані оцінки $\hat{\lambda}$ знаходяться в фазі з параметричною неоднорідністю. Нормуючий множник N призначений для приведення амплітуди $\hat{\lambda}$ до λ .

Отриманий таким чином, вектор λ_w , оцінюється фільтром Калмана з метою формування результату вимірювання у вигляді $\hat{\lambda}_w \pm \Delta\lambda_w$, де $\hat{\lambda}_w$ – вектор оцінок параметрів вологості; $\Delta\lambda_w$ – похибка оцінки параметрів вологості при заданій довірчій імовірності (невизначеність результату вимірювання) та аналізується шляхом вейвлет-перетворення для отримання якісної характеристики про стан речовини при заданому рівні роздільної здатності (часо-частотний аналіз) [8–10]. Інформація про значення коефіцієнтів посилення фільтра Калмана і коефіцієнта підвищення відношення частоти низькочастотної складової сигналу до частоти дискретизації закладена у векторі керуючих впливів u , який визначається діапазоном вимірювання вологості.

Перелік метрологічних характеристик для дослідження було обрано відповідно до ДСТУ 8.009-2008. Результати досліджень наведено у табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1

Основні метрологічні характеристики алгоритмів реалізації запропонованого методу на основі фільтра Калмана (ФК) I та II порядків для оцінки параметрів фізичної величини при ustalених значеннях коефіцієнтів α, β

Характеристика	ФК I порядку	ФК I порядку (A)*	ФК I порядку (B)*
Алгоритм**	$\begin{cases} \hat{s}_i = s_i^e + \pm(y_i - s_i^e), \\ s_i^e = \hat{s}_{i-1} \end{cases}$	$\begin{cases} \hat{s}_i = s_i^e + \pm(y_i - s_i^e), \\ \hat{v}_i = v_i^e + \frac{1}{T}(y_i - s_i^e), \\ s_i^e = \hat{s}_{i-1} + \hat{v}_{i-1}T, \\ v_i^e = \hat{v}_{i-1} \end{cases}$	$\begin{cases} \hat{s}_i = s_i^e + \pm(y_i - s_i^e), \\ \hat{v}_i = v_i^e + \beta \left(\frac{y_i - y_{i-1}}{T} - v_i^e \right), \\ s_i^e = \hat{s}_{i-1} + \hat{v}_{i-1}T, \\ v_i^e = \hat{v}_{i-1} \end{cases}$
Комплексна передаточна функція $K(z) = \frac{a + bz^{-1} + cz^{-2}}{d + ez^{-1} + fz^{-2}}$	$a = \alpha, \quad b = 0, \quad c = 0,$ $d = 1, \quad e = \alpha - 1,$ $f = 0$	$a = \alpha, \quad b = \beta - \alpha, \quad c = 0,$ $d = 1, \quad e = \alpha + \beta - 2,$ $f = 1 - \alpha$	$a = \alpha, \quad b = \beta - \alpha, \quad c = (\alpha - 1)\beta,$ $d = 1, \quad e = \alpha + \beta - 2,$ $f = (1 - \alpha)(1 - \beta)$
Нулі, полюса	$z_0 = 0, \quad z_{II} = 1 - \alpha$	$z_0 = 1 - \frac{\beta}{\alpha},$ $z_{II} = (1 - g) \pm j\sqrt{\beta - g^2},$ $g = \frac{\alpha + \beta}{2}$	$z_0 = \frac{\alpha - \beta}{2\alpha} \pm j\sqrt{\beta - \left(\frac{\alpha + \beta}{2\alpha}\right)^2},$ $z_{II} = 1 - \alpha,$ $z_{II}^* = 1 - \beta$
Область стійкості	$\alpha > 0$	$\alpha > 0, \quad \beta \geq 0,$ $2\alpha + \beta < 4$	$\alpha\beta > 0, \quad \alpha + \beta - \alpha\beta > 0,$ $2\alpha + 2\beta - \alpha\beta < 4$
$K(1), K(-1)$	$1, \frac{\alpha}{2 - \alpha}$	$1, \frac{2\alpha - \beta}{4 - 2\alpha - \beta}$	$1, \frac{2(\alpha - \beta) + \alpha\beta}{2(2 - \alpha - \beta) + \alpha\beta}$
АЧХ $y = \phi(\omega),$ $x = \log_2(\omega T / 2\pi),$ $\alpha = \beta = 0,01$			
Частота резонансу	—	$f_p = \frac{\arccos s \left(1 - \frac{\beta}{2 - \alpha} \right)}{2\pi T}$	$f_p = \frac{\arccos s \left(1 - \frac{\alpha\beta}{2 - \alpha - \beta + \alpha\beta} \right)}{2\pi T}$
ФЧХ $y = \phi(\omega),$ $x = \log_2(\omega T / 2\pi),$ $\alpha = \beta = 0,01$			

Закінчення табл. 1

Характеристика	ФК I порядку	ФК I порядку (A)*	ФК I порядку (B)*
Імпульсна характеристика $y = g(i),$ $x = i,$ $\alpha = \beta = 0,01$			
Коефіцієнти динамічної похибки	$c_1 = \frac{1-\alpha}{\alpha}$	$c_1 = 0, c_2 = \frac{1-\alpha}{\beta}$	$c_1 = 0, c_2 = \frac{1-\alpha}{\alpha\beta}$
Коефіцієнти подавлення шумів $\varphi^2 = \sigma_{\text{вих}}^2 / \sigma_{\text{вх}}^2$	$\varphi^2 = \frac{\alpha}{2-\alpha}$	$\varphi^2 = \frac{2\beta + 3\alpha\beta + 2\alpha^2}{4\alpha - \alpha\beta - 2\alpha^2}$	$\varphi^2 = \frac{h-k}{I},$ де $h = \alpha^2(1-\beta)(2-\beta) \times$ $\times (\beta(1-\alpha)(2-\alpha) + \alpha),$ $k = \beta^2(1-\alpha)(2-\alpha) \times$ $\times ((1-\beta)(\alpha + \beta - \alpha\beta) + \alpha),$ $I = (\alpha - \beta)(1-\beta)(2-\beta) \times$ $\times (2-\alpha)(\alpha + \beta - \alpha\beta)$

Примітка: * — послідовність вимірювального сигналу на вході несе інформацію про значення фізичної величини (A) та значенні фізичної величини та швидкості її зміни (B); ** y_i, y_{i-1} — значення вхідної послідовності сигналу в поточний та попередній момент часу, \hat{s}_i, \hat{v}_i — оцінка значення фізичної величини та швидкості її зміни в поточний момент часу, $\hat{s}_{i-1}, \hat{v}_{i-1}$ — оцінка значення фізичної величини та швидкості її зміни в попередній момент часу, s_i^p, v_i^p — екстрапольовані значення фізичної величини та швидкості її зміни, T — крок дискретизації, α, β — коефіцієнти підсилення фільтру в усталеному режимі.

Таблиця 2

Витрати на реалізацію алгоритмів фільтрів Калмана (ФК) I та II порядків для оцінки параметрів фізичної величини при усталених значеннях коефіцієнтів

Характеристика	ФК I порядку	ФК I порядку (A)	ФК I порядку (B)
N1	2	3	3
N2	1	2	3
N3	1	3	3
N4	4	8	9
N5	5	13	14

В табл. 2 позначено N1–N5 — кількість комірок пам'яті, відповідно: для зберігання інформації, робочих комірок, для зберігання параметрів фільтрації, загальна кількість комірок, кількість машинних операцій.

6. Обговорення результатів реалізації методу підвищення точності оцінки параметрів дискретної речовини в потоці

Запропоновані схеми для реалізації методу підвищення точності оцінки параметрів дискретної речовини в потоці були перевірені шляхом чисельного моделювання на цифровій імітаційній моделі комплексного впливу вимірюваної фізичної величини та зовнішніх впливів. Внаслідок перевірки встановлено, що запропонована схема: стійка; знижує похибки вимірювання вологості речовини в потоці (для вологості 10–15 % приблизно в 1,5 рази, для вологості >20 % приблизно в 1,2 рази); дозволяє скласти найбільш повну інтегровану картину про стан речовини при її здачі і прийманні; прискорює процес приймання і здачі речовини, що економічно доцільно.

7. Висновки

Сформульовано задачу оцінки параметрів дискретних речовин в потоці, метою розв'язання якої є виявлення змін у досліджуваному фізичному процесі. Розроблено метод підвищення точності оцінки параметрів та запропоновано схему для його реалізації, яка при заданій точності вимірювання, при заданому об'ємі вибірки, при заданому часі спостереження забезпечує обчислення вибіркової статистики, оптимальне за критерієм середньоквадратичного відхилення. Складено узагальнену структурну схему проблемно-орієнтованої ІВС вологості сипучої речовини, запропоновано варіант реалізації пристрою обробки інформації ІВС на основі розробленого методу та досліджено його метрологічні характеристики.

Результати проведених у статті досліджень дозволяють виконати адаптацію процесу отримання вимірювальної інформації в ІВС до фізичного процесу; виявити нестационарності; викрити приховані тенденції фізичного процесу при розв'язанні задач довгострокового спостереження за показниками якості.

Перспективою подальших розвідок в методології оцінювання на основі структурних властивостей вимірювального сигналу є адаптація базисів вейвлет-аналізу до конкретних задач, а також використання більш сучасних методів обробки сигналів, зокрема спектральний аналіз з локалізованими модульованими базисами (чірплет-аналіз) [11, 12].

Література

1. Мищенко, С. В. Проектирование радиоволновых (СВЧ) приборов неразрушающего контроля [Текст]: учеб. пособие / С. В. Мищенко, Н. А. Малков. — Тамбов: ТГТУ, 2003. — 128 с.
2. Мороз, С. В. Измерение влажности сыпучих продуктов в потоке [Текст] / С. В. Мороз // Вестник сахарников Украины. — 2013. — № 12. — С. 23–27.

3. Новопащенко, Г. Н. Информационно-измерительные системы [Текст]: учеб. пособие / Г. Н. Новопащенко. — М.: Высшая школа, 1977. — 208 с.
4. Соболев, В. И. Информационно-статистическая теория измерений [Текст]: учебник для вузов / В. И. Соболев. — М.: Машиностроение, 1983. — 224 с.
5. Моттль, В. В. Скрытые марковские модели в структурном анализе сигналов [Текст] / В. В. Моттль, И. Б. Мучник. — М.: Физматлит, 1999. — 352 с.
6. Згуровский, М. З. Аналитические методы калмановской фильтрации для систем с априорной неопределенностью [Текст] / М. З. Згуровский, В. Н. Подладчиков. — Киев: Наукова думка, 1995. — 298 с.
7. Kalman, R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems [Text] / R. E. Kalman // Journal of Basic Engineering. — 1960. — Vol. 82, № 1. — P. 35–45. doi:10.1115/1.3662552
8. Kingsbury, N. Complex Wavelets for Shift Invariant Analysis and Filtering of Signals [Text] / N. Kingsbury // Applied and Computational Harmonic Analysis. — 2001. — Vol. 10, № 3. — P. 234–253. doi:10.1006/acha.2000.0343
9. Addison, P. S. The Illustrated Wavelet Transform Handbook [Text] / P. S. Addison. — IOP Publishing Ltd, 2002. — 368 p. doi:10.1887/0750306920
10. Daubechies, I. Ten Lectures on Wavelets [Text] / I. Daubechies. — Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992. — 350 p. doi:10.1137/1.9781611970104
11. Mann, S. The Chirplet transform: A generalization of Gabor's logon transform [Text] / S. Mann, S. Haykin // Proceedings «Vision Interface'91». — 3–7 June 1991. — P. 205–212. doi:10.1.1.18.5028
12. Mann, S. «Chirplets» and «warblets»: novel time-frequency methods [Text] / S. Mann, S. Haykin // Electronics Letters. — 1992. — Vol. 28, № 2. — P. 114–116. doi:10.1049/el:19920070

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ДИСКРЕТНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОТОКЕ

Рассмотрена задача исследования структурных свойств измерительного сигнала при оценке параметров дискретных веществ в потоке с целью получения измерительной информации о качестве этих веществ. Предложен и теоретически исследован метод повышения точности оценки параметров дискретных веществ в потоке. Составлены обобщенные структурные схемы реализации и определены метрологические характеристики предложенного метода.

Ключевые слова: структурный анализ, спектральный анализ, информационно-измерительные системы.

Шантур Діана Сергіївна, кандидат технічних наук, кафедра автоматизації експериментальних досліджень, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: shantyr@meta.ua.

Шантырь Диана Сергеевна, кандидат технических наук, кафедра автоматизации экспериментальных исследований, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Shantyr Diana, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: shantyr@meta.ua