

одержаними значеннями RC – параметрів посудини з оливою і порожньої посудини визначають в ОП, де ϵ і значення діелектричної проникності $\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0}$, де C_x – ємність посудини з оливою, C_0 – порожньої посудини.

1. ГОСТ 6581-75. Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний. 2. Автоматичний пристрій для тестування трансформаторної оливи АДТР-2000. Технічний опис та керівництво з експлуатації. 3. Кнеллер Б.Ю. Автоматические измерения составляющих комплексного сопротивления. М., 1967. 4. Гаврилюк М.О., Соголовський С.П., Походило Є.В. Вимірювачі імпедансу з прямим перетворенням // Вимірювальна техніка та метрологія, 1998, № 52. 5. Zinn E., Braun A., Köhler H., – J. Kapazitäts – und Verlustfaktormessung mit selbsttätiger Abgleichung. Techn. Mess. atm., 1977, 44, №2. 6. Burnley K. G., Ellison D.H., Exan J.L. A system for the measurement of the loss tangent and capacitance of high-voltage insulation over a wide range of frequency and voltage. J. Phys. E: Sci. Instrum., 1983, 16, №11, 1039...1045. 7. Грибок М. Інтелектуальні методи вимірювання параметрів векторних величин // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. 2001, №415. 8. Грибок М. Вимірювання параметрів двокомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат по складових опорі і провідності // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. 2002, № 445. 9. Грибок М. Вимірювання параметрів двокомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат по складових напругі і струму // Вимірювальна техніка та метрологія, 2002, №59. 10. Грибок М. Алгоритмічні методи вимірювання параметрів скалярних величин // Вісник ДУ “Львівська політехніка”. – 2002. – № 445.

УДК 621.317+681.325

В.І. Отенко, З.М. Стрілецький

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра автоматики і телемеханіки

ПРИНЦИПИ СТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЧИСЛО-ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПРЯМОГО ВІДТВОРЕННЯ

© Отенко В.І., Стрілецький З.М., 2004

Розглянуто питання побудови багатофункціональних число-імпульсних функціональних перетворювачів (ЧІФП) прямого відтворення для систем автоматики. Розроблено принципи структурної організації таких перетворювачів, що дало змогу розширити номенклатуру та кількість відтворюваних функціональних залежностей. Наведено приклади їх практичної реалізації та результати дослідження метрологічних характеристик отриманих структур.

The article is given up to the construction of the multifunctional pulse-numerical function convertors (PNFC) with direct reproduction for automation systems. Principles of the structural organization of such converters that has allowed expanding the nomenclature and quantity of reproduced functional dependences are developed. Examples of their practical realization and results of research of metrological characteristics of the received structures are resulted.

1. Постановка проблеми. Серед пристроїв первинної обробки вимірювальної інформації окремий клас утворюють число-імпульсні пристрої [1]. До них належать, зокрема, число-імпульсні функціональні перетворювачі (ЧІФП) прямого відтворення, вихідний параметр яких отримують, інтегруючи відповідно модульовану число-імпульсну послідовність.

Поширення ЧФП прямого відтворення пояснюється існуванням значної кількості давачів частотно-часової групи [2], для яких аналого-цифрове перетворення вихідного сигналу в число-імпульсну послідовність реалізується порівняно простими засобами, а також можливістю побудови на базі багатофункціональних (здатних до одночасного або почергового відтворення кількох функцій) ЧФП прямого відтворення пристроїв з кусковою апроксимацією функціональних залежностей [3].

Нетривіальність внутрішніх інформаційних процесів у багатофункціональних ЧФП прямого відтворення ускладнює їх проектування, а тому задача розроблення принципів структурної організації таких перетворювачів є актуальною.

2. Аналіз відомих рішень. Відомі методики [4, 5] побудови структур ЧФП прямого відтворення базуються на системі рівнянь Шеннона і передбачають отримання системи породжуючих диференціальних рівнянь з подальшою побудовою структури ЧФП та її подальшою оптимізацією. Методика [5], зокрема, доведена до інженерного рівня, однак, як і методика [4], орієнтована на синтез структур ЧФП лише заздалегідь заданими функціональними залежностями і не висвітлює можливі способи збільшення кількості відтворюваних багатофункціональними ЧФП залежностей структурними методами.

3. Мета досліджень. Метою роботи є розроблення структурних методів збільшення номенклатури та кількості функцій відтворюваних ЧФП прямого відтворення, а також розробка структур таких перетворювачів та дослідження їх метрологічних характеристик.

4. Структурна організація багатофункціональних ЧФП прямого відтворення. В основу структурної організації однофункціонального ЧФП прямого відтворення покладено принцип інтегрування імпульсного потоку, який отримують внаслідок цифрової модуляції імпульсного потоку на вході перетворювача. Надалі ланки, які здійснюють цифрову модуляцію та інтегрування імпульсних потоків, будемо називати, відповідно, модулятором і інтегратором. Очевидно, що вигляд відтворюваної таким ЧФП функції визначається вибраним законом модуляції.

Розширити номенклатуру функцій, відтворюваних одним перетворювачем, можна, збільшивши кількість імпульсних потоків, які підлягають інтегруванню. З огляду на це поставимо задачу розробки принципів структурної організації багатофункціональних ЧФП прямого відтворення як задачу пошуку способів формування множини модульованих за заданими законами імпульсних потоків і подальшого їх інтегрування.

Дослідженнями встановлено, що вказана множина може бути отримана, якщо реалізовано такі принципи:

- 1) послідовна модуляція вхідного імпульсного потоку;
- 2) паралельна модуляція вхідного імпульсного потоку;
- 3) зміна закону модуляції;
- 4) поєднання 1, 2 і 3.

Схемотехнічно принцип послідовної модуляції реалізується за допомогою кола, утвореного послідовно з'єднаними модуляторами. Вхідний імпульсний потік перетворювача надходить лише на вхід першого із модуляторів. На входи решти модуляторів надходять вже модульовані імпульсні потоки, через що закони модуляції і структура кожного із модуляторів можуть бути спрощені. Приклад практичної реалізації принципу 1 наведено у [6].

При паралельній модуляції входи усіх модуляторів з'єднуються між собою, що, загалом, збільшує апаратні витрати, однак дає змогу формувати модульовані імпульсні потоки незалежно один від одного.

Імпульсні потоки на виходах модуляторів в обох розглянутих випадках можуть інтегруватися як окремими інтеграторами, так і одним інтегратором з комутованим входом. У першому випадку відтворення функцій одночасне, у другому – почергове.

При формуванні множини модульованих імпульсних потоків за принципом зміни закону модуляції можлива реалізація лише почергового відтворення функціональних залежностей. Власне

змінювати закон модуляції може за допомогою відповідної комутації структурних елементів модуляторів та зміною режимів їх роботи. Приклад практичної реалізації принципу 3 наведено у [7].

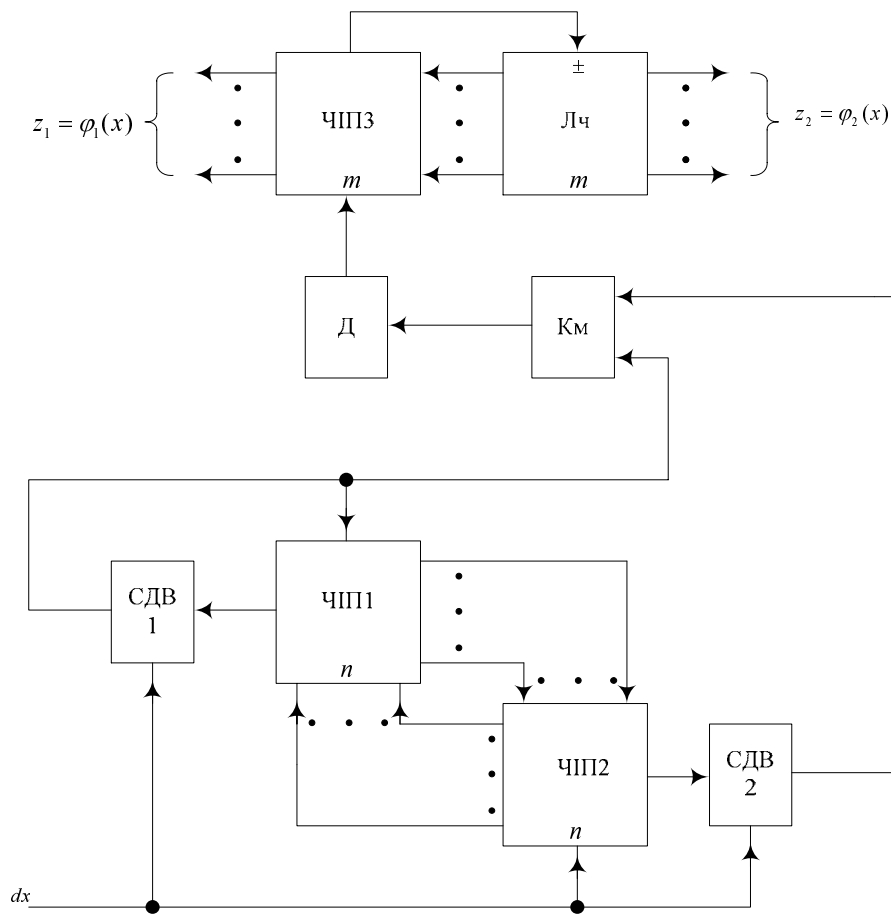


Рис. 1. Структурна схема багатофункціонального ЧФП прямого відтворення на базі принципу 4

На практиці найефективнішим виявилось поєднання усіх розроблених принципів формування множини модульованих імпульсних потоків. Як приклад такої розробки розглянемо багатофункціональний ЧФП прямого відтворення [8], структурна схема якого зображена на рис.1. До його складу входять число-імпульсні помножувачі ЧП1, ЧП2 і ЧП3 на базі лічильників, реверсивний лічильник Лч, схеми додавання-віднімання імпульсних послідовностей СДВ1 і СДВ2, комутатор Км, подільник кількості імпульсів Д.

Вигляд відтворюваних перетворювачем функцій визначається режимами роботи СДВ1, СДВ2, Лч (додавання або віднімання), режимом роботи комутатора Км (вхід подільника Д з'єднаний з виходом СДВ1 або СДВ2), типом керуючого коду ЧП1 (прямий чи інверсний). Роботу перетворювача розглянемо, припустивши, що схеми СДВ1 і СДВ2 працюють в режимі додавання імпульсних послідовностей, а ЧП1 керується інверсним кодом числа в лічильнику у складі ЧП2. Будемо вважати, що початкове значення числа в Лч становить z_{2n} , а в лічильниках у складі ЧП1, ЧП2 і ЧП3 – нуль.

Приріст $dz_{СДВ1}$ імпульсної послідовності на виході схеми СДВ1 викликає приріст $dz_{ЧП1}$ імпульсної послідовності на виході ЧП1

$$dz_{ЧП1} = \frac{2^n - 1 - x}{2^n} \cdot dz_{СДВ1}, \quad (1)$$

де x – поточне значення числа в лічильнику у складі ЧП2;

n – розрядність ЧП1 і ЧП2.

З іншого боку, справедливе таке співвідношення

$$dz_{СДВ1} = dx + dz_{ЧП1}, \quad (2)$$

де dx – приріст вхідної імпульсної послідовності перетворювача.

Розв'язавши систему (1)–(2), одержимо значення приросту $dz_{СДВ1}$ і поточне значення $z_{СДВ1}$ числа в лічильнику у складі ЧП1

$$dz_{СДВ1} = \frac{2^n}{1+x} \cdot dx; \quad (3)$$

$$z_{СДВ1} = 2^n \cdot \ln(1+x). \quad (4)$$

Своєю чергою, приріст $dz_{СДВ2}$ імпульсної послідовності на виході схеми СДВ2, з урахуванням (4), буде становити

$$dz_{СДВ2} = dx + \ln(1+x) \cdot dx. \quad (5)$$

Розглянемо роботу фрагмента структурної схеми, утвореного елементами ЧПЗ, Лч, Д і Км. Очевидно, що поточні значення z_1 і z_2 чисел, які формуються, відповідно, в лічильнику у складі ЧПЗ і лічильнику Лч, визначаються співвідношеннями

$$z_1 = \int \frac{dz_{Км}}{k}; \quad (6)$$

$$z_2 = z_{2П} \pm \int \frac{z_2}{k \cdot 2^m} \cdot dz_{Км}, \quad (7)$$

де $dz_{Км}$ – приріст імпульсної послідовності на виході Км;

k – коефіцієнт ділення подільника Д;

m – розрядність ЧПЗ.

Знак "+" у виразі (7) відповідає роботі реверсивного лічильника Лч в режимі додавання, а знак "-" – в режимі віднімання. Звідси поточні значення z_1 і z_2 становлять

$$z_1 = \varphi_1(x) = \frac{2^n}{k} \cdot \ln(1+x); \quad (8)$$

$$z_2 = \varphi_2(x) = z_{2П} \cdot (1+x)^{\pm 2^{n-m}/k}, \quad (9)$$

якщо $dz_{Км} = dz_{СДВ1}$ (вхід Д з'єднаний з виходом СДВ1) і

$$z_1 = \varphi_1(x) = \frac{1}{k} \cdot (1+x) \cdot \ln(1+x); \quad (10)$$

$$z_2 = \varphi_2(x) = z_{2П} \cdot (1+x)^{\pm (1+x)/(2^m k)}, \quad (11)$$

якщо $dz_{Км} = dz_{СДВ2}$ (вхід Д з'єднаний з виходом СДВ2), причому залежності $z_1 = \varphi_1(x)$ і $z_2 = \varphi_2(x)$ відтворюються одночасно.

Загалом розглянутий багатофункціональний ЧФП прямого відтворення відтворює сукупність функціональних залежностей, вигляд яких визначається комбінаціями роботи схем СДВ1, СДВ2, лічильника Лч і типом керуючого ЧП1. Деякі з цих залежностей та відповідні режими роботи структурних елементів і тип керуючого коду ЧП1 наведено в табл. 1.

Деякі функції, відтворювані багатofункціональним ЧФП прямого відтворення

Вигляд відтворюваних функцій		Режим роботи структурних елементів			Тип керуючого коду ЧП1
$z_1 = \varphi_1(x)$	$z_2 = \varphi_2(x)$	Км	СДВ1	СДВ2	
$k_1 \cdot N \cdot \ln(1+x)$	$k_2 \cdot (1+x)^{\pm k_1 k_3}$	1	+	*	інверсний
$k_1 \cdot N \cdot \ln\left(\frac{1}{1-x/N}\right)$	$k_2 \cdot \left(\frac{1}{1-x/N}\right)^{\pm k_1 k_3}$	1	+	*	прямий
$k_1 \cdot N \cdot \ln(1+x/N)$	$k_2 \cdot (1+x/N)^{\pm k_1 k_3}$	1	-	*	прямий
$k_1 \cdot (1+x) \cdot \ln(1+x)$	$k_2 \cdot (1+x)^{\pm(1+x)k_1/M}$	2	+	+	інверсний
$k_1 \cdot (N-x) \cdot \ln\left(\frac{1}{1-x/N}\right)$	$k_2 \cdot \left(\frac{1}{1-x/N}\right)^{\pm(N-x)k_1/M}$	2	+	-	прямий
$k_1 \cdot (N+x) \cdot \ln(1+x/N)$	$k_2 \cdot (1+x/N)^{\pm(N+x)k_1/M}$	2	-	+	прямий

Примітки:

- $N = 2^n$; $M = 2^m$; $k_1 = 1/k$; $k_2 = z_{2П}$; $k_3 = N/M$.
- У позначенні "±" знак "+" відповідає роботі лічильника Лч у режимі додавання, знак "-" - в режимі віднімання.
- Позначення режимів роботи комутатора Км:
 "1" – вхід подільника Д з'єднаний з виходом схеми СДВ1;
 "2" – вхід подільника Д з'єднаний з виходом схеми СДВ2.
- Позначення режимів роботи схем СДВ1 і СДВ2:
 "+" – режим додавання імпульсних послідовностей;
 "-" – режим віднімання імпульсних послідовностей;
 "*" – довільний режим.

В табл. 2 наведено значення зони похибки багатofункціонального ЧФП прямого відтворення для деяких функціональних залежностей з табл.1. Вплив розрядності на значення зони похибки перетворювача відображено діаграмою на рис.2.

Усі результати отримали для значень розрядності $8 \leq n \leq 12$, припустивши, що $n = m$, $k = 1$, $z_{2П} = 2^n - 1$. При інших $k > 1$ точність перетворення зростає внаслідок ефекту усереднення вхідної імпульсної послідовності ЧПЗ. Вибране початкове значення $z_{2П} = 2^n - 1$ забезпечує максимальний діапазон зміни аргументу функції z_0 .

Виконаний аналіз показав, що значення похибок багатofункціонального ЧФП ПВ не перевищують значень похибок наявних однофункціональних ЧФП, реалізованих на тій самій елементній базі. Подальше покращання метрологічних характеристик може бути досягнуте за рахунок розробки ЧП із зменшеною похибкою перетворення, а також доповненням наявного набору новими структурними елементами підвищеної точності.

**Значення зони похибки багатифункціонального ЧФП ПВ
при відтворенні деяких функціональних залежностей з табл. 1**

n		8	9	10	11	12
$\Delta_{з,о.м.р.}$	$z_1 = 2^n \cdot \ln(1 + x/2^n)$	3,03	4,49	3,73	5,30	9,49
	$z_1 = (2^n + x) \cdot \ln(1 + x/2^n)$	3,27	6,52	3,70	7,50	12,93
	$z_2 = (2^n - 1)/(1 + x/2^n)$	3,86	3,64	4,50	7,38	10,79
	$z_2 = (2^n - 1)/(1 + x/2^n)^{1+x/2^n}$	3,31	4,90	7,69	7,34	13,09

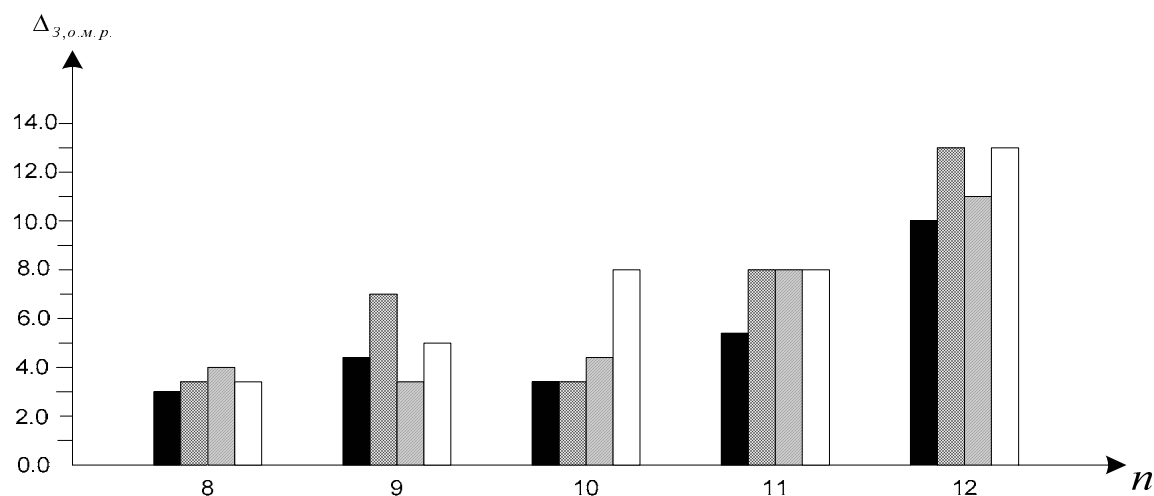


Рис. 2. Вплив розрядності n на значення зони похибки багатифункціонального ЧФП прямого відтворення для деяких функціональних залежностей з табл. 1:

- $z_1 = 2^n \cdot \ln(1 + x/2^n)$;
 - $z_1 = (2^n + x) \cdot \ln(1 + x/2^n)$;
 - $z_2 = (2^n - 1)/(1 + x/2^n)$;
 - $z_2 = (2^n - 1)/(1 + x/2^n)^{1+x/2^n}$.

Висновки. В результаті виконаних теоретичних і практичних досліджень розроблено принципи структурної організації багатифункціональних ЧФП прямого відтворення. Запропоновані принципи дають змогу розширити як номенклатуру, так і кількість відтворюваних перетворювачем функцій.

Подальші дослідження в напрямку розроблення та використання багатифункціональних ЧФП прямого відтворення можуть вестися у напрямі покращання метрологічних характеристик за рахунок:

- розробки структурних елементів ЧФП із зменшеною похибкою перетворення;
- розширення наявного набору структурних елементів через створення нових структурних елементів підвищеної точності.

1. Введение в кибернетическую технику: Обработка физической информации // Под общ. ред. Б.Н.Малиновского. К., 1979. 2. Вульвет Дж. Датчики в цифровых системах. М., 1981. 3. Стрелецкий З.М. Измерительные нелинейно-аппроксимирующие цифро-частотные функциональные преобразователи: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.11.05 / Киевский политехнический институт. – К., 1987. 4. Дудыкевич В.Б. Число-импульсные измерительные преобразователи: Автореф. дис... д-ра.

техн. наук: 05.11.05 / Львовский политехнический институт. – Львов, 1991. 5 Лагун А.Е. Автоматизированный структурный синтез число-импульсных функциональных преобразователей: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.05 / НУ “Львівська політехніка”.- Львів, 2001. 6. А.с. 1108441 СССР, МКИ G 06 F 7/556. Цифровой функциональный преобразователь / В.Б.Дудыкевич, В.И.Отенко, З.М.Стрилецкий (СССР).- № 3509873/18-24; Заявл. 01.11.82; Опубл. 15.08.84. Бюл. № 30. 7. А.с. 1012269 СССР, МКИ G 06 F 17/31. Цифровой функциональный преобразователь / В.Б.Дудыкевич, В.И.Отенко, З.М.Стрилецкий (СССР).- № 3313681/18-24; Заявл. 06.07.81; Опубл. 15.04.83. Бюл. № 14. 8. А.с. 1012269 СССР, МКИ G 06 F 17/31. Цифровой функциональный преобразователь / В.Б.Дудыкевич, В.И.Отенко, З.М.Стрилецкий (СССР).- № 3313681/18-24; Заявл. 06.07.81; Опубл. 15.04.83. Бюл. № 14.

УДК 621.317

Р.М. Івах, М.М. Дорожовець

Національний університет “Львівська політехніка”
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ЗАМІЩЕННЯ ПІД ЧАС ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

© Івах Р.М., Дорожовець М.М., 2004

Описано актуальність вимірювання вологості сипких матеріалів, проблеми, які виникають під час вимірювання. Запропоновано використовувати метод заміщення для зменшення впливу неінформативних параметрів під час вимірювання вологості зерна.

The urgency of measurement of humidity of bulk materials, problem is described, which one arise at measurement. The writers recommend for reduction (decreasing) influencing of not informative parameters during measurement of humidity of a grain to use a substitution method.

Вступ. Вологість притаманна практично усім твердим та сипким матеріалам та речовинам, і часто вона визначає їх технічні, хімічні та інші якісні характеристики. Вимірювання вологості сипких матеріалів, зокрема зерна, та проектування експрес-вологомірів є актуальною задачею для України, оскільки стратегічним напрямком аграрного комплексу є виробництво зерна та продуктів його переробки. Залежно від вологонасиченості повітря в сховищі зерно здатне поглинати воду або віддавати її у довкілля. Якщо відносна вологість і температура повітря залишаються сталими, то між зерном і повітрям настає стан гігроскопічної рівноваги, встановлюється рівноважна вологість.

Точний контроль вмісту вологи в зерні сприяє зниженню витрат, пов'язаних із сушінням і зберіганням. Можливість точного визначення вологості зерна в потрібний момент, а особливо під час збирання врожаю – є чинником, що відокремлює прибуток від збитків. Експрес-вологоміри застосовують під час приймання зерна від хлібоздавальників, при взаємних розрахунках, для контролю під час зберігання та переробки зерна. Можливість визначення вологості не тільки зернових і зернобобових культур, але і продуктів їхньої переробки (борошно, крупа тощо), дає змогу значно розширити діапазон застосування вологомірів.

Методи визначення вологості сипких матеріалів можна поділити на прямі, які ґрунтуються на розділенні досліджуваного матеріалу на вологу частину та на сухий залишок, та непрямі, коли вологість досліджуваного матеріалу визначають за результатами вимірювання інших фізичних величин, які функціонально з нею пов'язані [1].

Оскільки прямі методи визначення вологості є тривалими, то їх застосування для експрес-аналізу є проблематичним. Найперспективнішим з непрямих методів вимірювання вологості