

УДК 621.391.251

DOI: 10.31891/2219-9365-2020-65-1-7

КОРЕЦЬКА Л. О., ФОРКУН І. В., МЕДЗАТИЙ Д. М.
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ПАПЕРУ

У статті наведено дослідження основних метрологічних характеристик засобів вимірювального контролю вологості паперу: теоретичну та експериментальну градувальні характеристики, похибки засобу вимірювань вологості паперу (абсолютну, відносну, зведену), встановлено клас точності вимірювального засобу. Наведено алгоритм виконання комплектною повірки засобу.

Ключові слова: автоматизована система контролю вологості, метрологічні характеристики, надлишковий метод, вологість паперу.

KORETSKA L., FORKUN I., MEDZATYI D.
Khmelnytskyi National University

STUDY OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF AUTOMATED MEANS OF MEASURING CONTROL OF PAPER HUMIDITY

The moisture content of the paper plays a very important role, as it affects the strength, stability of the size and shape of the sheets. Control over the preparation of printing machines for printing, which aims to ensure the correct position of the print on the paper, twisting, warping, static electricity, the formation of wrinkles and folds is impossible without control over the humidity of the paper and the dynamics of its change. The greatest stability of paper moisture is observed at a humidity of 45%. And the most favorable range of humidity - 40-60%. But when you move sheets of paper from storage areas where the temperature is lower, to the room where the printing will take place and the temperature is higher, and accordingly, a difference in humidity is created, which will affect the humidity of the paper. After weaving the polyethylene sheets of paper begin to absorb moisture until there is a balance of humidity in the environment. Changing the moisture content of the paper leads to printing defects, the use of more ink, incompatibility of inks on the prints, and others. Therefore, measuring the moisture content of the paper before printing is of great importance. The optimum moisture content in the paper is 4.5–5.5 %. High-precision automated measuring instruments should be used to monitor such small values.

High-precision determination of paper humidity in an automated humidity control system is important because the range of usability of paper that is suitable for use is quite small. Inaccurate measurement can lead to the paper being considered unusable by the system, and vice versa.

The use of surplus methods of measuring the humidity content of sheet materials provides automatic correction of errors, which are due to the influence of the following factors: absolute values of the parameters of the conversion function of the measuring channel and their deviation from the nominal values; nonlinearity and instability of the parameters of the transformation function of the measuring channel as a result of the influence of external destabilizing factors; attenuation of the flow of optical radiation introduced by the elements of the optical path and contamination of the optical elements. The extraction of the error components is carried out as a result of processing the obtained intermediate data according to a certain equation of surplus measurements.

The article studies the metrological characteristics of the automated paper humidity control system, which is based on the use of the method of surplus measurements. The accuracy class of the automated control system is determined.

Keywords: automated humidity control system, metrological characteristics, surplus method, paper humidity.

Вступ. Вміст вологи у папері відіграє досить важливу роль, оскільки це впливає на міцнісні показники, стійкість розмірів та форми листів. Контроль за підготовкою друкувальних машин до друку тиражу, який має на меті забезпечити правильне положення відтиску на папері, скручуванням, коробленням, статичною електрикою, утворення зморшок та складок неможливий без контролю за вологістю паперу та динамікою її зміни. Найбільш стабільність вологості паперу спостерігається при вологості оточуючого середовища 45 %. А найбільш сприятливий діапазон вологості повітря – 40-60%. Але при перенесенні листів паперу з складських приміщень, де температура нижча, у приміщення, де відбуватиметься друк і температура є вищою, і відповідно, створюється і різниця вологості, яка впливатиме на вологість паперу. Після знаття поліетилену листи паперу починають вбирати вологу до тих пір поки не настане рівновага відносно вологості повітря навколишнього середовища. Зміна вологості паперу призводить до дефектів друку, використання більшої кількості фарби, несуміщення фарб на відтисках і ін. Тому вимірювання значення вологості паперу перед друком має велике значення. Оптимальний вміст вологості в папері становить 4,5–5,5 %. Для контролю таких невеликих значень повинні використовуватись високоточні автоматизовані засоби вимірювального контролю.

Результати досліджень. У попередніх дослідженнях було показано [1–3], що використання надлишкових методів вимірювального контролю вологості листових матеріалів забезпечує автоматичну

корекцію похибок, які обумовлені впливом наступних факторів: абсолютних значень параметрів функції перетворення вимірювального каналу та їх відхилення від номінальних значень; нелінійністю та нестабільністю параметрів функції перетворення вимірювального каналу у результаті впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів; послаблення потоку оптичного випромінювання, що вноситься елементами оптичного тракту та забрудненням оптичних елементів. Вилучення складових похибки здійснюється у результаті обробки отриманих проміжних даних за певним рівнянням надлишкових вимірювань. Зменшення випадкових складових похибки вимірювання можливе за рахунок здійснення багаторазових вимірювань у кожному такті та їх статистичної обробки. Проведемо дослідження метрологічних характеристик засобу вимірювального контролю вологості паперу.

Для визначення дійсного значення концентрації вологи в папері розроблено метод надлишкових вимірювань, який полягає в виконанні чотирьох тактів вимірювання потужностей потоків оптичного випромінювання, які перетворені у напруги. У першому такті проводилось вимірювання так званого зміщення нуля. У другому такті у оптичний тракт встановлювався зразок листового матеріалу із відомим значенням вологості. Потужність послабленого потоку оптичного випромінювання перетворювали у напругу. У третьому такті вимірювалось значення напруги, у яку перетворено потужність послабленого потоку оптичного випромінювання, який містить інформацію про зразок матеріалу та про досліджуваний матеріал. У четвертому такті проводилось вимірювання значення напруги, у яку перетворено потужність послабленого потоку ОВ, що пройшов через досліджуваний матеріал. Далі за рівнянням надлишкових вимірювань (1) визначалось дійсне значення вологості паперу:

$$C_x = C_0 \frac{\ln(U_2 - U_0) - \ln(U_1 - U_0)}{\ln(U_2 - U_0) - \ln(U_3 - U_0)}. \quad (1)$$

Для перевірки запропонованого методу було розроблено автоматизований цифровий оптико-електронний засіб, який забезпечує прийом послабленого потоку ОВ, перетворення його у електричний сигнал та обробку інформації про вологість досліджуваного матеріалу за вимірюваними значеннями потужності послабленого потоку ОВ. Такий засіб міститиме в собі оптичні, електронні, механічні та інші елементи [4–6]. Структурна схема засобу наведена на рис. 1.

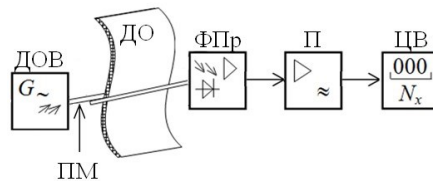


Рис. 1. Структурна схема цифрового оптико-електронного засобу вимірювального контролю вологості листових матеріалів: ДОВ – джерело оптичного випромінювання, ПМ – протяжний механізм, ДО – досліджуваний об’єкт, ФПр – фотоприймач, П – підсилювач, ЦВ – цифровий вольтметр

Згідно з цією структурною схемою засіб вимірювального контролю містить джерело оптичного випромінювання ДОВ, на виході якого формується потік оптичного випромінювання, який потрапляє на досліджуваний об’єкт ДО. Протягування листового матеріалу за допомогою протяжного механізму ПМ дозволяє вимірювати потужність послабленого потоку оптичного випромінювання, що пройшов через об’єкт дослідження, у кількох місцях. Послаблений потік оптичного випромінювання, потрапляє на фотоприймач ФПр, який перетворює його у електричний сигнал. Сигнал з виходу фотоприймача ФПр подається на підсилювач, з якого подається на цифровий вольтметр ЦВ.

Здатність засобу вимірювальної техніки витримувати метрологічні характеристики у заданих межах визначає його надійність. Для оцінки відповідності метрологічних характеристик їх нормованим значенням проводять процес перевірки засобів вимірювальної техніки, яка полягає у визначенні похибок засобів вимірювальної техніки і винесення рішення про їх придатність до застосування [7].

Повірку засобів вимірювальної техніки можна здійснювати двома методами: поелементно; комплексно. Поелементна перевірка передбачає визначення метрологічних характеристик кожного вимірювального перетворювача окремо. на основі відомих функціональних залежностей визначають сумарні метрологічні характеристики засобу, що повіряється. Під час комплексної перевірки визначають метрологічні характеристики засобу вимірювальної техніки як єдиного цілого без визначення метрологічних характеристик окремих її частин.

Для визначення метрологічних характеристик розробленого засобу вимірювальної техніки запропоновано використати метод зразкових засобів, в основу якого покладено одночасне вимірювання фізичної величини засобом, що повіряється, та зразковим засобами вимірювальної техніки. При цьому оператор має встановити, що на зразковий і на засіб, який повіряється, діє одна і та інтенсивність фізичної величини.

Характерною рисою методу зразкових засобів є застосування в автоматизованій системі зразкових засобів, що мають відомі і стабільні метрологічні характеристики. До зразкових засобів вимірювальної техніки пред'являється така вимога: «Точність зразкового засобу має бути в 3–5 раз вищою ніж точність засобу, який повіряється».

Для здійснення комплектної повірки необхідно виконати наступну послідовність дій [7]:

1. Отримати градувальні характеристики засобу вимірювальної техніки для контрольованих матеріалів;
2. Навести структурну схему повірки;
3. Використати або запропонувати методику визначення дійсного значення;
4. Визначити із діапазону вимірювання 3–5 точок, в яких необхідно провести вимірювальний експеримент;

5. В цих точках провести одночасне вимірювання зразковим засобом і засобом, що повіряється. Виміряне значення отримане зразковим засобом прийняти за дійсне значення C_{x_d} , а засобом, що повіряється, – за виміряне C_{x_b} ;

6. Оцінити в цих точках діапазону вимірювання абсолютну, відносну, зведену похибки;

7. Знайти із ряду відносних і зведених похибок максимальні значення і за допомогою метрологічного ряду встановити клас точності.

Для визначення градувальної характеристики необхідно визначитись із значенням контрольованої величини, допусками на її зміну та кроком квантування.

Для офсетного паперу (№ 1, першого сорту) згідно ГОСТ 9094–89 [8] значення контрольованого параметра повинно знаходитись у межах (2):

$$C_x = 6\% \pm 1\%. \quad (2)$$

Для забезпечення вимірювального контролю у заданому діапазоні задамось верхньою межею вимірювання $C_{x_{\max}} = 8\%$.

Крок квантування становить (3):

$$h = \frac{C_{x_{\max}}}{2^n} = \frac{8\%}{2^{10}} = 0,008\%. \quad (3)$$

Градувальна характеристика за (3) засобу контролю вологості паперу матиме вигляд (рис. 2, а):

$$C_x = h \cdot N = 0,008\% \cdot N, \quad (4)$$

де N – кількість імпульсів, які підрачує двійковий лічильник за АЦП-перетворення.

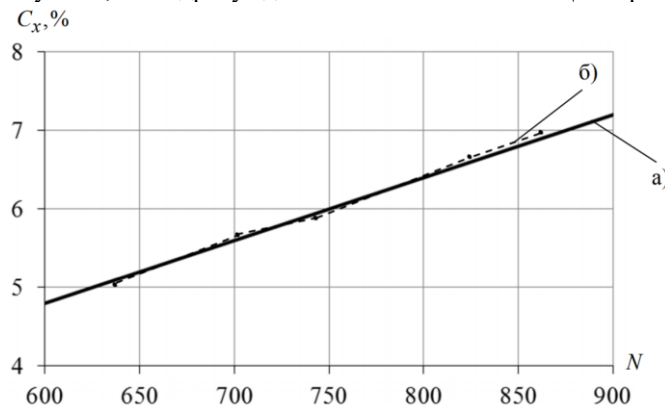


Рис. 2. Теоретична градувальна характеристика (а) та отримані експериментальні дані (б)

Для експериментального визначення дійсного значення вологості засобом контролю необхідно виконати вимірювання вологості згідно ГОСТ 13525.19-91 (ISO 28785) при температурі $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$. Обладнання та матеріали відповідають умовам цього Державного стандарту. Вологість зразка паперу визначається за формулою (у відсотках):

$$C_x = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де m – маса ємності для зважування, г; m_1 – маса ємності для зважування із зразком паперу до висушування, г; m_2 – маса ємності для зважування із зразком паперу після висушування, г.

Результати описаного експерименту прийнято за дійсні значення і занесено до таблиці 1 та позначені на рис. 2, б.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

Дійсне значення вологи, %	5,08	5,65	5,98	6,54	6,89	Нормоване значення
Виміряне значення вологи, %	5,04	5,71	5,92	6,59	6,97	–
Абсолютна похибка, %	-0,04	+0,06	-0,06	+0,05	+0,08	0,08
Відносна похибка, %	0,79	1,06	1,01	0,77	1,16	2,0
Зведена похибка, %	0,50	0,75	0,75	0,63	1,00	1,0

Проведемо перевірку адекватності запропонованої математичної моделі. Для цього визначимо похибку між даними, що отримані теоретично, та експериментальними даними:

$$\delta_{\text{ММ}} = \frac{C_{x(\text{теорет})} - C_{x(\text{експ})}}{C_{x(\text{експ})}} \cdot 100\% .$$

Встановлено, що похибка між результатами теорії та практики не перевищує 1,5 %.

За допомогою програмного забезпечення NUMERI була побудована статична характеристика (рис. 3) вимірювального каналу засобу вимірювального контролю вологості паперу, яка була апроксимована поліномом I ступеня. Експериментальна функція перетворення вимірювального каналу виглядає наступним чином:

$$C_x = -0,03135 + 1,0550 \cdot C_{x_3} . \quad (6)$$

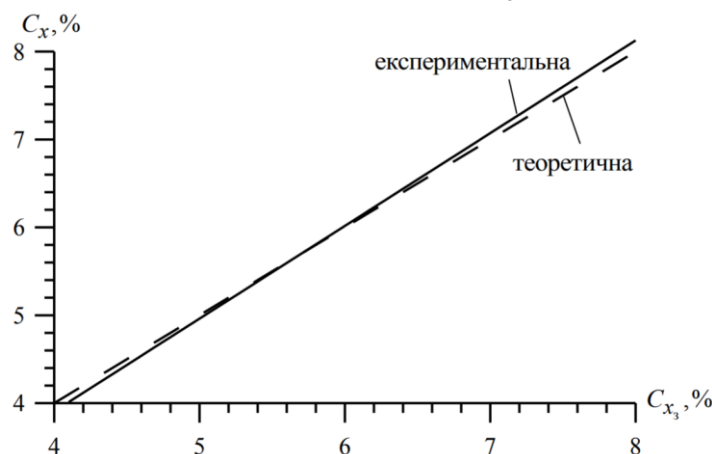


Рис. 3. Експериментальна градувальна характеристика

Висновки. У результаті досліджень метрологічних характеристик встановлено:

- теоретична статична характеристика засобу є лінійною;
- експериментальна статична характеристика представляється у вигляді полінома першого порядку і має як адитивну (0,3135 % (ваг.)) так і мультиплікативну (1,055 % (ваг.)) складову похибки;
- випадкова складова похибки розподілена за нормальним законом. Систематична складова похибки не перевищує 0,0017 % (ваг.), а середнє квадратичне відхилення – 0,319 % (ваг.);
- максимальна зведена похибка засобу контролю не перевищує 1,00 %, клас точності засобу становить 1,0.

Література

1. Ковтун Л.О. Надлишкові вимірювання вологості оптично-прозорих листових матеріалів та їх ефективність. / В.Т. Кондратов, Л.О. Ковтун // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. -2009. -№1. –С. 21-27.
2. Ковтун Л.О. Оцінка вірогідності контролю вологості оптично-прозорих листових матеріалів (офсетного паперу) [Текст] / Л. О. Ковтун // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – №4. – С. 36-39.
3. Ковтун Л.О. Надлишковий метод вимірювального контролю вологості паперу із використанням двоканального широкодіапазонного оптико-електронного засобу / Л.О. Ковтун, Д.М. Медзятий // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 2. – С. 170-175.
4. Кучеренко, О. К. Розрахунок і конструювання оптичних приладів [Електронний ресурс] : навчальний посібник . – Київ : НТУУ «КПІ», 2011.
5. Міхєєнко Л.А. Учебний посібник з дисципліни "Оптичні вимірювання". Частина 1. Метрологічна обробка результатів вимірювання. -К.:каф. ООЕП,2009 - 39с
6. Міхєєнко Л.А., Мамута М.С. Основи конструювання приладів: Навчальний посібник – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 202с.
7. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: Навчальний посібник. – Вінниця, ВДТУ, 2001. – 219 с.
8. ГОСТ 9094-89. Бумага для печати офсетная.

References

1. Kovtun L.O. Nadlishkovi vimirjuvannja vologosti optichno-prozorih listovih materialiv ta ih effektivnist'. / V.T. Kondratov, L.O. Kovtun // Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih procesah. -2009. -№1. –S. 21-27.
2. Kovtun L.O. Ocinka virogidnosti kontrolju vologosti optichno-prozorih listovih materialiv (ofsetnogo paperu) [Tekst] / L. O. Kovtun // Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih procesah. – 2013. – №4. – S. 36-39.
3. Kovtun L.O. Nadlishkovij metod vimirjuval'nogo kontrolju vologosti paperu iz vikoristannjam dvokanal'nogo shirokodiapazonnogo optiko-elektronnoho zasobu / L.O. Kovtun, D.M. Medzatiy // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. – 2017. – №2. – S. 170-175.
4. Kucherenko, O. K. Rozrahunok i konstruvannja optichnih priladiv [Elektronnij resurs] : navchal'nij posibnik . – Kiiv : NTUU «KPI», 2011.
5. Miheenko L.A. Uchbovij posibnik z disciplini "Optichni vimirjuvannja". Chastina 1. Metrologichna obrobka rezul'tativ vimirjuvannja. -K.:kaf. OOEP,2009 - 39s
6. Miheenko L.A., Mamuta M.S. Osnovi konstruvannja priladiv: Navchal'nij posibnik – K.: NTUU «KPI», 2015. – 202s.
7. Volodars'kij Є.T., Kuharchuk V.V., Podzharenko V.O., Serdjuk G.B. Metrologichne zabezpechennja vimirjuvan' i kontrolju: Navchal'nij posibnik. – Vinnicja, VDTU, 2001. – 219 s.
8. GOST 9094-89. Bumaga dlja pečati ofsetnaja.

Надійшла / Paper received: 17.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 05.06.2020