



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 86206

(13) C2

(51) МПК (2009)

G01N 21/00

G01N 21/25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ НАДЛИШКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ВОЛОГОСТІ ПАПЕРУ

1

2

(21) a200603088

(22) 22.03.2006

(24) 10.04.2009

(46) 10.04.2009, Бюл. № 7, 2009 р.

(72) КОНДРАТОВ ВЛАДИСЛАВ ТИМОФІЙОВИЧ,
UA, СОРОКІНА ЛЮДМИЛА ОЛЕКСАНДРІВНА, UA
(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М. ГЛУШКОВА
НАН УКРАЇНИ, UA

(56) RU 2022257, 30.10.1994

UA 68026 A, 15.07.2004

UA 9734, 17.10.2005

UA 43044 A, 15.11.2001

(57) Спосіб надлишкових вимірювань вологості паперу, заснований на формуванні трьох нормованих за значенням потужності потоків $\Phi_{0\lambda 1}$, $\Phi_{0\lambda 2}$

і $\Phi_{0\lambda 3}$ направленою оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль $\lambda_1 \pm \Delta\lambda$, $\lambda_2 \pm \Delta\lambda$ і $\lambda_3 \pm \Delta\lambda$, де $k_2\Delta\lambda$ - ширина спектра оптичного випромінювання при $k_2 = 2$, яким відповідають коефіцієнти поглинання води ($\alpha_{\lambda_{\text{в}}}$), води/целюлози ($\alpha_{\lambda_{\text{и}}}$) і целюлози ($\alpha_{\lambda_{\text{ц}}}$), відповідно, вимірюванні потужностей потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір (або відбитих потоків), запам'ятовуванні значень отриманих напруг з наступним визначенням вологості паперу за відповідним рівнянням вимірювань, який **відрізняється** тим, що спочатку вимірюють вихідні напруги вимірювального каналу для кожного з трьох потоків $\Phi'_{0\lambda 1}$, $\Phi'_{0\lambda 2}$ і $\Phi'_{0\lambda 3}$ оптичного випромінювання нульової потужності, запам'ятовують значення отриманих напруг, встановлюють потужності пото-

ків $\Phi''_{0\lambda 1}$, $\Phi''_{0\lambda 2}$ і $\Phi''_{0\lambda 3}$ оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 такими, при яких отримані значення напруг стануть рівними апіорі визначенням (при проведенні калібровки) результатам прямих вимірювань потужностей послаблених потоків оптичного випромінювання при нормованому значенні концентрації $C_{0\text{в}}$ вологи у папері, при нових значеннях потужностей потоків $\Phi''_{0\lambda 1}$, $\Phi''_{0\lambda 2}$ і $\Phi''_{0\lambda 3}$ оптичного випромінювання вимірюють потужності тих потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір (або відбитих потоків), запам'ятовують значення отриманих напруг, відновлюють початкові значення потужностей кожного з трьох потоків $\Phi_{0\lambda 1}$, $\Phi_{0\lambda 2}$ і $\Phi_{0\lambda 3}$ оптичного випромінювання, після вимірювання потужностей потоків оптичного випромінювання, що пройшли (або відбилися) через вологий папір, і запам'ятовування значень отриманих напруг визначають дійсне значення вологості паперу за наступним рівнянням надлишкових вимірювань:

$$W = k \frac{C_{\text{хв}} - C_{\text{хн}}}{(C_{\text{хв}} - C_{\text{хн}}) + (C_{\text{хц}} - C_{\text{хн}})} [\%],$$

$$\text{де } C_{\text{хв}} = C_{0\text{в}} \frac{\ln(U_7 - U_1) - \ln(U_4 - U_1)}{\ln(U_7 - U_1) - \ln(U_{10} - U_1)},$$

$$C_{\text{хц}} = C_{0\text{в}} \frac{\ln(U_8 - U_2) - \ln(U_5 - U_2)}{\ln(U_8 - U_2) - \ln(U_{11} - U_2)},$$

$$C_{\text{хв}} = C_{0\text{в}} \frac{\ln(U_9 - U_3) - \ln(U_6 - U_3)}{\ln(U_9 - U_3) - \ln(U_{12} - U_3)},$$

$$k = 100$$

Винахід відноситься до спектральних оптичних методів вимірювання вологості паперу і може бути використаний для створення високоточних цифрових вимірювачів вологості паперу різної товщини при його виробництві, зберіганні тощо.

Відомий спосіб вимірювання вологості паперу [А.С. SU 1024807 А МКИ G 01 N 21/17. Устройство для измерения влажности / М. Мухитдинов, Е.С.

Мусаев, Ю. Мамасадыков. Бюл. №25, 1982], заснований на формуванні трьох направлених потоків оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , яким відповідають коефіцієнти поглинання води ($\alpha_{\lambda_{\text{в}}}$), води/целюлози ($\alpha_{\lambda_{\text{и}}}$) і целюлози ($\alpha_{\lambda_{\text{ц}}}$) відповідно, вимірюванні потужностей потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір (або відбитих пото-

(13) C2

(11) 86206

(19) UA

ків), диференціюванні отриманих напруг та їх порівнянні, формуванні часових інтервалів з наступним визначенням вологості паперу за результатами підрахунку імпульсів за заданий інтервал часу.

Відомий спосіб не забезпечує високу точність вимірювання вологості паперу по причині використання тільки аналогових операцій перетворення сигналів, за виключенням операції підрахунку імпульсів. Часова та температурна нестабільність параметрів функцій перетворення функціональних блоків обмежує отримання високої точності вимірювання вологості паперу.

Відомий спосіб вимірювання вологості паперу [А.С. SU 1376012 А1 МКИ⁴. Способ определения влажности / Г.В. Шуглиашивили, К.П. Чкония. Бюл. №7, 1988], заснований на формуванні трьох направлених потоків оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , яким відповідають коефіцієнти поглинання води ($\alpha_{\lambda_{\text{вб}}}$), води/целюлози ($\alpha_{\lambda_{\text{иц}}}$) і целюлози ($\alpha_{\lambda_{\text{цц}}}$) відповідно, вимірюванні потужностей потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір (або відбитих потоків), запам'ятовуванні значень отриманих напруг з наступним визначенням вологості паперу за відповідним рівняннями вимірювань.

Відомий спосіб не дозволяє забезпечити високу точність вимірювання дійсного значення вологості паперу. Причинами цього є залежність результатів вимірювання від нестабільності функції перетворення вимірювального каналу, неможливості точного визначення відношення значень чутливостей фоторезисторів на двох довжинах хвиль, а також відношення ширини спектру на різних довжинах хвиль.

Найбільш близьким за технічною суттю спосіб вимірювання вологості паперу [А.С. SU 2022257 А1 МКИ G 01 N 21/86. Инфракрасный влагомер для измерения влажности конденсаторной бумаги / В.Г. Белкин, Е.В. Бычинов и др. Бюл. №20, 1991], заснований на формуванні трьох направлених потоків оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 , яким відповідають коефіцієнти поглинання води ($\alpha_{\lambda_{\text{вб}}}$), води/целюлози ($\alpha_{\lambda_{\text{иц}}}$) і целюлози ($\alpha_{\lambda_{\text{цц}}}$) відповідно, вимірюванні потужностей потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір (або відбитих потоків), запам'ятовуванні значень отриманих напруг, з наступним визначенням вологості паперу за відповідним рівняннями вимірювань.

Відомому способу притаманна недостатня точність вимірювання, що обумовлена необхідністю високоточного визначення коефіцієнтів пропускання паперу на вимірювальних довжинах хвиль, необхідністю визначення спектральних коефіцієнтів поглинання води та целюлози на вимірювальних довжинах хвиль. Крім того, результатів вимірювання вологості паперу залежить від нестабільності функції перетворення вимірювального каналу.

В основу винаходу покладена задача створення такого способу надлишкових вимірювань вологості паперу, у якому, шляхом введення заданої кількості, послідовності та умов виконання операцій, забезпечувалося б:

підвищення точності вимірювання при будь-яких розбіжностях параметрів функцій перетворення вимірювальних каналів, - при реалізації його триканальним вимірювачем;

підвищення точності вимірювання при часовій та температурній нестабільності параметрів функції перетворення вимірювального каналу, - при реалізації вимірювача з часовим розділенням вимірювальних каналів;

виключення впливу на результат вимірювання коефіцієнта розсіювання;

виключення впливу на результат вимірювання вологості абсолютного значення товщини паперу та його зміни у часі та при зміні концентрації вологості;

виключення дії нерівномірності спектральної характеристики фотоприймача на результат вимірювання тощо.

Поставлена технічна задача вирішується завдяки тому, що у способі надлишкових вимірювань вологості паперу, заснованому на формуванні трьох нормованих за значенням потужності потоків $\Phi_{0\lambda_1}$, $\Phi_{0\lambda_2}$ і $\Phi_{0\lambda_3}$ направлено оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль $\lambda_1 \pm \Delta\lambda$, $\lambda_2 \pm \Delta\lambda$ і $\lambda_3 \pm \Delta\lambda$, де $k_2\Delta\lambda$ - ширина спектру оптичного випромінювання при $k_2=2$, яким відповідають коефіцієнти поглинання води ($\alpha_{\lambda_{\text{вб}}}$), води/целюлози ($\alpha_{\lambda_{\text{иц}}}$) і целюлози ($\alpha_{\lambda_{\text{цц}}}$), відповідно, вимірюванні потужностей потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір (або відбитих потоків), запам'ятовуванні значень отриманих напруг з наступним визначенням вологості паперу за відповідним рівняннями вимірювань, спочатку вимірюють вихідні напруги вимірювального каналу для кожного з трьох потоків $\Phi'_{0\lambda_1}$, $\Phi'_{0\lambda_2}$ і $\Phi'_{0\lambda_3}$ оптичного випромінювання нульової потужності, запам'ятовують значення отриманих напруг, встановлюють потужності потоків $\Phi''_{0\lambda_1}$, $\Phi''_{0\lambda_2}$ і $\Phi''_{0\lambda_3}$ оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 такими, при яких отримані значення напруг стануть рівними априорі визначеним (при проведенні калібровки) результатам прямих вимірювань потужностей послаблених потоків оптичного випромінювання при нормованому значенні концентрації $C_{0\text{в}}$ волиги у папері, при нових значеннях потужностей потоків $\Phi'_{0\lambda_1}$, $\Phi'_{0\lambda_2}$ і $\Phi'_{0\lambda_3}$ оптичного випромінювання вимірюють потужності тих потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір (або відбитих потоків), запам'ятовують значення отриманих напруг, відновлюють початкові значення потужностей кожного з трьох потоків $\Phi_{0\lambda_1}$, $\Phi_{0\lambda_2}$ і $\Phi_{0\lambda_3}$ оптичного випромінювання, після вимірювання потужностей потоків оптичного випромінювання, що пройшли (відбилися) через вологий папір і запам'ятовування значень отриманих напруг, визначають дійсне значення вологості паперу за наступним рівнянням надлишкових вимірювань

$$W = k \frac{C_{\text{хв}} - C_{\text{хн}}}{(C_{\text{хв}} - C_{\text{хн}}) + (C_{\text{хц}} - C_{\text{хн}})} [\%],$$

$$\text{де } C_{\text{хв}} = C_{0\text{в}} \frac{\ln(U_7 - U_1) - \ln(U_4 - U_1)}{\ln(U_7 - U_1) - \ln(U_{10} - U_1)},$$

$$C_{\text{хц}} = C_{0\text{в}} \frac{\ln(U_8 - U_2) - \ln(U_5 - U_2)}{\ln(U_8 - U_2) - \ln(U_{11} - U_2)},$$

$$C_{\text{хв}} = C_{0\text{в}} \frac{\ln(U_9 - U_3) - \ln(U_6 - U_3)}{\ln(U_9 - U_3) - \ln(U_{12} - U_3)},$$

$$k = 100.$$

Нижче, на рисунку, зображена структурна схема пристрою для визначення вологості паперу, який реалізує запропонований спосіб, де 1 - цифрований генератор оптичного випромінювання (однієї з трьох довжин хвиль); 2 - передавальне оптичне волокно, що підводить потік оптичного випромінювання до паперу; 3 - приймальне оптичне волокно, що відводить послаблений потік оптичного випромінювання, що пройшов через папір, до фотоприймача; 4 - джерело живлення; 5 - вологий папір; 6 - лінза; 7 - світлодіод; 8 - обтюраторний диск; 9 - фотоприймач; 10 - синхродвигун; 11 - фотодіод; 12 - селективний підсилювач; 13 - підсилювач-формував синхроімпульсів; 14 - синхронний детектор; 15 - аналого-цифровий перетворювач; 16 - мікроконтролер з блоками оперативної та перепрограмованої постійної пам'яті; 17 - цифровий відліковий пристрій; 18 - загальна шина.

Причому, цифрований генератор 1 оптичного випромінювання (однієї з трьох довжин хвиль) оптично з'єднаний через передавальне оптичне волокно 2, папір 5 і приймальне оптичне волокно 3 з лінзою 6.

Лінза 6 перетворює послаблений потік оптичного випромінювання, що пройшов через шар паперу 5, у паралельний потік, який фокусується через отвори у обтюраторному диску 8, на вхід фотоприймача 9. Слід зазначити, що обтюраторний диск 8 жорстко з'єднаний з синхродвигуном 10.

Завдяки обертання обтюраторного диску 8 з заданою частотою Ω , потік оптичного випромінювання модулюється шляхом переривання. За допомогою фотоприймача 9 змінний потік оптичного випромінювання перетворюється у змінну напругу з частотою ω , що визначається частотою обертання синхродвигуна 10 і кількістю отворів у обтюраторного диску 8.

Змінна напруга з виходу фотоприймача 9 через селективний підсилювач 12 поступає на синхронний детектор 14, вхід керування якого підключений до виходу підсилювача-формуваха синхроімпульсів 13. Вхід підсилювача-формуваха синхроімпульсів 13 з'єднаний з фотодіодом 11. Останній сприймає оптичне випромінювання через отвори у обтюраторному диску 8 від світло-діода 7. Світлодіод 7 підключено до джерела живлення 4, вхід якого з'єднаний з одним із входів-виходів мікроконтролера 16.

Вихід синхронного детектора 14 підключений до входу аналого-цифрового перетворювача 15, виходи якого з'єднані, через загальну шину 18, з мікроконтролером 16. Через загальну шину 18 з мікроконтролером 16 підключені й виходи синхродвигуна 10, джерела 1 оптичного випромінювання і цифрового відлікового пристрою 17.

Припустимо, що функція перетворення фотоприймача або вимірювального каналу у цілому описується лінійним рівнянням величин

$$U_x = S'_\text{л} \Phi_x + \Delta U_{3\text{м}}, \quad (1)$$

де Φ_x - світловий потік, що поступає на фотоприймач; U_x - вихідна напруга фотоприймача; $\Delta U_{3\text{м}}$ - напруга зміщення фотоприймача; $S'_\text{л} = S_\text{л}(1 + \gamma_\text{л})$ - крутість функції перетворення фотоприймача, що враховують вплив на фотоприймач дестабілізуючих факторів, а також їх зміну у часі; $S_\text{л}$ - номінальна за значенням крутість функції перетворення фотоприймача; $\gamma_\text{л}$ - відхилення крутості функцій перетворення фотоприймача від номінальних значень, що викликані впливом на фотоприймач дестабілізуючих факторів та їх зміною у часі.

Оскільки поглинання потужності потоку оптичного випромінювання здійснюється згідно з законом Ламберта-Бугера-Бера, то функція перетворення може бути записана наступним чином

$$U_x = S'_\text{л} \Phi_{0\lambda} e^{-(\alpha_{\lambda\text{х}} C_{\text{х}} + k_p) l_e} + \Delta U_{3\text{м}}, \quad (2)$$

де $\Phi_{0\lambda}$ - нормований за значенням потужності потік оптичного випромінювання з довжиною хвилі λ , який поступає на вологий папір; $\alpha_{\lambda\text{х}}$ - коефіцієнт поглинання досліджуваної рідини чи матеріалу на i -й довжині хвилі; $C_{\text{х}}$ - концентрація досліджуваної рідини чи матеріалу; k_p - коефіцієнт розсіювання; l_e - ефективна товщина вологого паперу.

Запропонований спосіб надлишкових вимірювань вологості паперу заснований на тому, що формують три нормованих за значенням потужності потоків $\Phi_{0\lambda 1}$, $\Phi_{0\lambda 2}$ і $\Phi_{0\lambda 3}$ направлено оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль $\lambda_{1\pm\Delta\lambda}$, $\lambda_{2\pm\Delta\lambda}$ і $\lambda_{3\pm\Delta\lambda}$, де $k_2\Delta\lambda$ - ширина спектру оптичного випромінювання при $k_2=2$.

Причому довжини хвиль $\lambda_{1\pm\Delta\lambda}$, $\lambda_{2\pm\Delta\lambda}$ і $\lambda_{3\pm\Delta\lambda}$ вибирають таким чином, щоб вони відповідали заздалегідь визначеним за спектральними характеристиками коефіцієнтам поглинання води ($\alpha_{\lambda\text{ив}}$), води/целюлози ($\alpha_{\lambda\text{иц}}$) і целюлози ($\alpha_{\lambda\text{цц}}$), відповідно.

Згідно з запропонованим способом, спочатку вимірюють вихідні напруги вимірювального каналу (чи трьох вимірювальних каналів) для кожного з трьох потоків $\Phi'_{0\lambda 1}$, $\Phi'_{0\lambda 2}$ і $\Phi'_{0\lambda 3}$ оптичного випромінювання нульової потужності, тобто при $\{\Phi'_{0\lambda 1}\}=0$, $\{\Phi'_{0\lambda 2}\}=0$, $\{\Phi'_{0\lambda 3}\}=0$. Запам'ятовують значення отриманих напруг

$$U_1 = S'_\text{л} \Phi'_{0\lambda 1} e^{-(\alpha_{\lambda 1\text{в}} C_{0\text{в}} + k_p) l_e} + \Delta U_{3\text{м}1} = \Delta U_{3\text{м}1} \quad (3)$$

$$U_2 = S'_\text{л} \Phi'_{0\lambda 2} e^{-(\alpha_{\lambda 2\text{в}} C_{0\text{в}} + k_p) l_e} + \Delta U_{3\text{м}2} = \Delta U_{3\text{м}2} \quad (4)$$

і

$$U_3 = S'_\text{л} \Phi'_{0\lambda 3} e^{-(\alpha_{\lambda 3\text{ц}} C_{\text{хц}} + k_p) l_e} + \Delta U_{3\text{м}3} = \Delta U_{3\text{м}3} \quad (5)$$

де $\Delta U_{3\text{м}1}$, $\Delta U_{3\text{м}2}$ і $\Delta U_{3\text{м}3}$ - зміщення функції перетворення у кожному з трьох каналів чи у одному каналі для трьох довжин хвиль. При стабільній функції перетворення фотоприймача чи вимірювального каналу $\Delta U_{3\text{м}1} = \Delta U_{3\text{м}5} = \Delta U_{3\text{м}9} = \Delta U_{3\text{м}}$;

$\alpha_{\lambda 1\text{в}}$, $\alpha_{\lambda 2\text{в}}$, $\alpha_{\lambda 3\text{ц}}$ - коефіцієнти поглинання води,

води/целюлози і целюлози на відповідних довжинах хвиль; C_{0B} , C_{0H} та $C_{0Ц}$ - масові концентрації води, води/целюлози та целюлози на відповідних довжинах хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 .

Далі встановлюють потужності потоків $\Phi''_{0\lambda,1}$, $\Phi''_{0\lambda,2}$ і $\Phi''_{0\lambda,3}$ оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 такими, при яких отримані значення напруг U_4 , U_5 і U_6 стануть рівними апріорі визначеним (при проведенні калібрування) результатам прямих вимірювань потужностей послаблених потоків оптичного випромінювання при нормованому значенні концентрації C_{0B} вологи у папері.

У цьому випадку напруги U_4 , U_5 і U_6 можуть бути записані через наступні рівняння величин

$$U_4 = S'_{\lambda} \Phi_{0\lambda,1} e^{-(\alpha_{\lambda,1B} C_{0B} + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M1}, \quad (6)$$

$$= S''_{\lambda} \Phi''_{0\lambda,1} + U_1 = U_{C0B} + U_1$$

$$U_5 = S'_{\lambda} \Phi_{0\lambda,2} e^{-(\alpha_{\lambda,2H} C_{0H} + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M2}, \quad (7)$$

$$= S'_{\lambda} \Phi''_{0\lambda,2} + U_1 = U_{C0H} + U_5$$

$$i$$

$$U_6 = S'_{\lambda} \Phi_{0\lambda,3} e^{-(\alpha_{\lambda,3Ц} C_{0Ц} + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M3} = \quad (8)$$

$$= S'_{\lambda} \Phi''_{0\lambda,3} + U_3 = U_{C0Ц} + U_9$$

При нових значеннях потужностей потоків

$$\Phi''_{0\lambda,1} = \Phi_{0\lambda,1} e^{-(\alpha_{\lambda,1B} C_{0B} + k_p) \cdot l_e}, \quad (9)$$

$$\Phi''_{0\lambda,2} = \Phi_{0\lambda,2} e^{-(\alpha_{\lambda,2H} C_{0H} + k_p) \cdot l_e}, \quad (10)$$

$$i \quad \Phi''_{0\lambda,3} = \Phi_{0\lambda,3} e^{-(\alpha_{\lambda,3Ц} C_{0Ц} + k_p) \cdot l_e} \quad (11)$$

оптичного випромінювання вимірюють потужності тих потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір (або відбитих потоків). В результаті отримують напруги

$$U_7 = S'_{\lambda} \Phi''_{0\lambda,1} e^{-(\alpha_{\lambda,1B} C_{0B} + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M1}, \quad (12)$$

$$U_8 = S'_{\lambda} \Phi''_{0\lambda,2} e^{-(\alpha_{\lambda,2H} C_{0H} + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M2} \quad (13)$$

$$i \quad U_9 = S'_{\lambda} \Phi''_{0\lambda,3} e^{-(\alpha_{\lambda,3Ц} C_{0Ц} + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M3}, \quad (14)$$

Значення отриманих напруг (12), (13) та (14) запам'ятовують.

З урахуванням рівнянь величин для $\Phi''_{0\lambda,1}$ (9), $\Phi''_{0\lambda,2}$ (10) і $\Phi''_{0\lambda,3}$ (11) спишемо напруги (12), (13) і (14) у вигляді наступних рівнянь величин:

$$U_7 = S'_{\lambda} \Phi_{0\lambda,1} e^{-(\alpha_{\lambda,1B} (C_{0B} + C_{XB}) + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M1}, \quad (15)$$

$$U_8 = S'_{\lambda} \Phi_{0\lambda,2} e^{-(\alpha_{\lambda,2H} (C_{0H} + C_{XH}) + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M2}, \quad (16)$$

i

$$U_9 = S'_{\lambda} \Phi_{0\lambda,3} e^{-(\alpha_{\lambda,3Ц} (C_{0Ц} + C_{XC}) + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M3}. \quad (17)$$

Потім відновлюють початкові значення потужностей кожного з трьох потоків оптичного випромінювання, тобто замість потоків $\Phi''_{0\lambda,1}$ (9), $\Phi''_{0\lambda,2}$ (10) і $\Phi''_{0\lambda,3}$ (11) встановлюють нормовані за значенням потоки $\Phi_{0\lambda,1}$, $\Phi_{0\lambda,2}$ і $\Phi_{0\lambda,3}$.

Вимірюють потужності потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір (чи відбилися). Результати вимірювання напруг

$$U_{10} = S'_{\lambda} \Phi_{0\lambda,1} e^{-(\alpha_{\lambda,1B} C_{XB} + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M1}, \quad (18)$$

$$U_{11} = S'_{\lambda} \Phi_{0\lambda,2} e^{-(\alpha_{\lambda,2H} C_{XH} + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M2} \quad (19)$$

i

$$U_{12} = S'_{\lambda} \Phi_{0\lambda,3} e^{-(\alpha_{\lambda,3Ц} C_{XC} + k_p) \cdot l_e} + \Delta U_{3M3}, \quad (20)$$

запам'ятовують.

Після вимірювання потужностей потоків оптичного випромінювання, що пройшли (відбилися) через вологий папір і запам'ятання значень отриманих напруг, про дійсне значення вологості паперу судять за наступним рівнянням надлишкових вимірювань

$$W = k \frac{C_{XB} - C_{XH}}{(C_{XB} - C_{XH}) + (C_{XC} - C_{XH})} [\%], \quad (21)$$

де

$$C_{XB} = C_{0B} \frac{\ln(U_7 - U_1) - \ln(U_4 - U_1)}{\ln(U_7 - U_1) - \ln(U_{10} - U_1)}, \quad (22)$$

$$C_{XC} = C_{0B} \frac{\ln(U_8 - U_2) - \ln(U_5 - U_2)}{\ln(U_8 - U_2) - \ln(U_{11} - U_2)}, \quad (23)$$

$$C_{XH} = C_{0B} \frac{\ln(U_9 - U_3) - \ln(U_6 - U_3)}{\ln(U_9 - U_3) - \ln(U_{12} - U_3)}, \quad (24)$$

$$k = 100. \quad (25)$$

Обробка результатів проміжних вимірювань за рівняннями надлишкових вимірювань (22), (23) і (24) з наступним визначенням дійсного значення вологості за рівнянням вимірювань (21), забезпечує виключення адитивної та мультиплікативної складових систематичної похибки вимірювання. Крім того, запропонований спосіб забезпечує підвищення точності вимірювання при будь-яких розбіжностях параметрів функцій перетворення вимірювальних каналів, - при реалізації його триканальним вимірювачем; підвищення точності вимірювання при часової та температурної нестабільності параметрів функції перетворення вимірювального каналу, - при реалізації вимірювача з часовим розділенням вимірювальних каналів; виключення впливу на результат вимірювання коефіцієнта розсіювання; виключення впливу на результат вимірювання вологості абсолютного значення товщини паперу та його зміни у часі та при зміні концентрації вологості; виключення дії нерівномірності спектральної характеристики фотоприймача на результат вимірювання тощо.

Це легко довести, якщо у рівняння надлишкових вимірювань (22), (23), (24) підставити аналітичні вирази для напруг та зробити відповідні спрощення. Отримані результати підставити у рівняння надлишкових вимірювань (24).

Таким чином введення нової сукупності та послідовності операцій вимірювання різних за розмірами інтенсивності світлових потоків і використан-

ня нового рівняння надлишкових вимірювань вологості паперу, дало можливість вирішити поставлену технічну задачу.

Розглянемо сутність запропонованого способу надлишкових вимірювань вологості паперу на прикладі роботи цифрового вимірювача вологості паперу, структурна схема якого наведена на рисунку.

Після включення приладу включаються живлення джерела 1 оптичного випромінювання і джерела 4 живлення світлодіода 7, синхродвигуна 10 і всіх інших функціональних блоків. Цифровий відліковий пристрій 17 обнуляється. Синхродвигун 10 починає обертати обтюраторний диск 8 з заданою частотою Ω , що задається по команді з мікроконтролера 16.

На вхід керування синхродетектора 14 з виходу підсилювача-формування 13 синхроімпульсів поступають імпульси синхронізації з частотою слідування ω .

У блоками перепрограмованої постійної пам'яті мікро контролера 16 записуються апіорі визначені (при проведенні калібровки за результатами прямих вимірювань потужностей послаблених потоків оптичного випромінювання при нормованому значенні концентрації $C_{0в}$ вологи у папері) значення кодів напруг U_4 , U_5 і U_6 .

При реалізації запропонованого способу за допомогою одноканального цифрового вимірювача вологості паперу процес вимірювання вологості паперу складається з 12 тактів вимірювань потужностей потоків оптичного випромінювання (на трьох довжинах хвиль та при трьох концентраціях вологості) та одного такту обробки результатів проміжних вимірювань.

У перших трьох тактах з джерела 1 потоки оптичного випромінювання з довжинами хвиль $\lambda_1 \pm \Delta\lambda$, $\lambda_2 \pm \Delta\lambda$ і $\lambda_3 \pm \Delta\lambda$ на передавальне оптичне волокно 2 не поступають. Тому у перших трьох тактах на вхід фотоприймача 9 поступають потоки оптичного випромінювання нульового чи близького до нульового значеннями потужності. Не нульові значення потужностей потоків оптичного випромінювання мають місце при попаданні зовнішнього потоку на фотоприймач 9 чи на приймальне оптичне волокно 3, наприклад, при поганій світловій герметизації входу фотоприймача 9 чи при нерівномірності прилягання приймального волокна 3 до паперу 5.

У перші три такти вимірюються та перетворюються у коди чисел N_1 , N_2 і N_3 вихідні напруги U_1 (3), U_2 (4) і U_3 (5) вимірювального каналу при зазначених (нульових чи близьких до нульового) значеннях потоків оптичного випромінювання. Результати вимірювання

$$N_1 = S_a U_1 + \Delta N_a, \quad (26)$$

$$N_2 = S_a U_2 + \Delta N_a, \quad (27)$$

$$N_3 = S_a U_3 + \Delta N_a, \quad (28)$$

де S_a і ΔN_a - крутість перетворення і адитивна похибка аналого-цифрового перетворювача 15,

поступають у оперативну пам'ять мікроконтролера 16, де й запам'ятовуються.

Після закінчення виконання перших трьох тактів по команді з мікроконтролера 16 у джерелі 1 оптичного випромінювання встановлюються задані за значенням потужності потоки $\Phi_{0\lambda 1}$, $\Phi_{0\lambda 1}$ і $\Phi_{0\lambda 3}$ оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 .

Далі, по команді з мікроконтролера 16, на джерело 1 оптичного випромінювання з постійній пам'яті мікроконтролера 16 по чергово поступають коди чисел, при яких напруга чи струм живлення внутрішнього джерела випромінювання по чергово змінюється таким чином, щоб значення потужностей потоків $\Phi_{0\lambda 1}$, $\Phi_{0\lambda 1}$ і $\Phi_{0\lambda 3}$ оптичного випромінювання з заданими довжинами хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 змінилися б, відповідно, до значень потужностей потоків оптичного випромінювання $\Phi''_{0\lambda 1}$ (9), $\Phi''_{0\lambda 1}$ (10) і $\Phi''_{0\lambda 3}$ (11).

Вимірюють потужності потоків $\Phi''_{0\lambda 1}$ (9), $\Phi''_{0\lambda 1}$ (10) і $\Phi''_{0\lambda 3}$ (11) оптичного випромінювання. В результаті у четвертому, п'ятому та шостому тактах вимірювання на вхід аналого-цифрового перетворювача 15 по чергово поступають напруги U_4 (6), U_5 (7) і U_6 (8). Ці напруги по чергово перетворюють у коди чисел

$$N_4 = S_a U_4 + \Delta N_a, \quad (29)$$

$$N_5 = S_a U_5 + \Delta N_a \quad (30)$$

$$N_6 = S_a U_6 + \Delta N_a, \quad (31)$$

Ці коди чисел дорівнюють, з похибкою ΔN_a , значенням результатів прямих вимірювань потужностей зазначених потоків при нормованому значенні концентрації $C_{0в}$ вологи у папері (що отримані при проведенні калібровки).

При нових значеннях потужностей потоків $\Phi''_{0\lambda 1}$ (9), $\Phi''_{0\lambda 1}$ (10) і $\Phi''_{0\lambda 3}$ (11) оптичного випромінювання здійснюються наступні три такти вимірювання.

У цих тактах вимірюють потужності тих потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір (або відбитих потоків). Напруги U_7 (12), U_8 (13) і U_9 (14) або (15), (16) і (17), що з'являються на виході синхронного детектора 14, за допомогою аналого-цифрового перетворювача 15 по чергово перетворюють у коди чисел

$$N_7 = S_a U_7 + \Delta N_a, \quad (32)$$

$$N_8 = S_a U_8 + \Delta N_a, \quad (33)$$

$$N_9 = S_a U_9 + \Delta N_a, \quad (34)$$

які запам'ятовують в оперативному запам'ятовуючому пристрої мікроконтролера 16.

Потім, по команді з мікроконтролера 16, встановлюють (відновлюють) початкове значення напруги чи струму живлення внутрішнього джерела випромінювання, при якому значення потужностей потоків $\Phi''_{0\lambda 1}$ (9), $\Phi''_{0\lambda 1}$ (10) і $\Phi''_{0\lambda 3}$ (11) оптичного

випромінювання з заданими довжинами хвиль λ_1 , λ_2 і λ_3 змінюється до початкових значень потужностей потоків $\Phi_{0\lambda 1}$, $\Phi_{0\lambda 2}$ і $\Phi_{0\lambda 3}$.

У останні три такі вимірюють потужності потоків оптичного випромінювання, що пройшли через вологий папір (чи відбилися) при початкових значеннях потоків $\Phi_{0\lambda 1}$, $\Phi_{0\lambda 2}$ і $\Phi_{0\lambda 3}$ оптичного випромінювання. В результаті вимірювання на виході синхронного детектора 14 по чергово з'являється напруги U_{10} (15), U_{11} (16) і U_{12} (17).

Отримані напруги U_{10} (15), U_{11} (16) і U_{12} (17) за допомогою аналого-цифрового перетворювача 15 перетворюють у коди чисел

$$N_{10} = S_a U_{11} + \Delta N_a, \quad (35)$$

$$N_{11} = S_a U_{11} + \Delta N_a \quad (36)$$

$$N_{12} = S_a U_{12} + \Delta N_a, \quad (37)$$

які запам'ятовують в оперативному запам'ятовуючому пристрої мікроконтролера 16.

Для визначення дійсного значення вологості паперу результати проміжних вимірювань обробляються згідно з рівняннями числових значень

$$N_W = 100 \cdot \frac{N_{C_{XX}} - N_{C_{XH}}}{(N_{C_{XB}} - N_{C_{XH}}) + (N_{C_{XC}} - N_{C_{XH}})} [\%], \quad (38)$$

де

$$N_{C_{XB}} = \{C_{0B}\} \frac{\ln(N_7 - N_1) - \ln(N_4 - N_1)}{\ln(N_7 - N_1) - \ln(N_{10} - N_1)}, \quad (39)$$

$$N_{C_{XC}} = \{C_{0C}\} \frac{\ln(N_8 - N_2) - \ln(N_5 - N_2)}{\ln(N_8 - N_2) - \ln(N_{11} - N_2)}, \quad (40)$$

$$N_{C_{XB}} = \{C_{0B}\} \frac{\ln(N_9 - N_3) - \ln(N_6 - N_3)}{\ln(N_9 - N_3) - \ln(N_{12} - N_3)}, \quad (41)$$

які відповідають рівнянням надлишкових вимірювань (21), (22), (23) і (24).

Результат обробки (38), тобто дійсне значення вологості паперу, відображається на цифровому відліковому пристрої 17.

За рахунок обробці результатів проміжних вимірювань згідно з запропонованими рівняннями числових значень (38), (39), (40) і (41), описаний цифровий вимірювач вологості забезпечує виключення всіх адитивних та мультиплікативних складових систематичних похибок результатів вимірювання потужностей оптичного випромінювання на кожній з трьох довжин хвиль, випадкові складові похибок за рахунок використання синхронного детектора 14 з фільтром нижніх частот на його виході, а також адитивної та мультиплікативної складових систематичної похибки аналого-цифрового перетворювача 15.

Як видно з приведенного рівняння числових значень, похибка вимірювання залежить тільки від похибки відтворення інтенсивностей світлових потоків на кожній з трьох довжин хвиль, потужності яких відповідають нормованій за значенням концентрації вологості паперу.

Обробка результатів проміжних вимірювань за рівняннями надлишкових вимірювань чи за рівняннями числових значень, забезпечує виключення Адитивної та мультиплікативної складових систематичної похибки вимірювання.

Крім того, на результат вимірювання виключається значення коефіцієнта розсіювання, абсолютного значення товщини паперу та його зміни у часі та при зміні концентрації вологості, вплив нерівномірності спектральної характеристики фотоприймача на результат вимірювання тощо.

Таким чином введення нової сукупності та послідовності операцій вимірювання різних за розмірами потужності та довжинами хвиль потоків оптичного випромінювання і використання нового рівняння надлишкових вимірювань вологості паперу дало можливість вирішити поставлену технічну задачу.

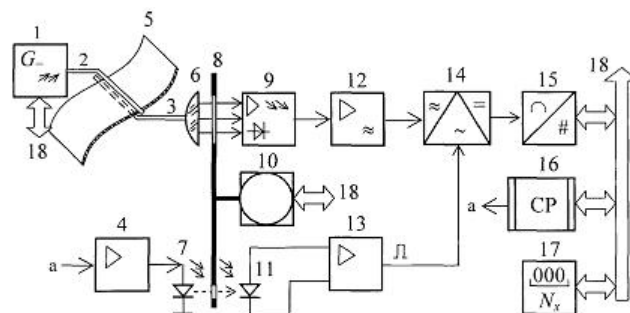


Рис.