

УДК 677.054

СВСТРАТЕНКО І.Г., ГАЛАГАН Р.М.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Мета.** Аналіз методів визначення вологості текстильних матеріалів. Вибір оптимального методу є важливою задачею, вирішення якої надає можливість проводити експрес-контроль якості готової продукції на текстильному виробництві.

**Методика.** Використано системно-структурний аналіз у вивченні наукових літературних джерел.

**Результат.** Досліджено прямі і непрямі методи контролю вологості текстильних матеріалів.

**Наукова новизна.** Запропоновано використання неруйнівного методу експрес-контролю вологості текстильних матеріалів на основі ємнісного методу.

**Практична значимість.** Запропоновано оптимальний метод визначення вологості текстильних матеріалів в процесі виробництва.

**Ключові слова:** вологість, методи контролю, вимірювання вологості, текстильні матеріали.

**Вступ.** На текстильному виробництві, де облік сировини, пряжі і якість готових тканин оцінюються за їх масою, контроль вологості необхідний на всіх етапах виробництва [1]. Вміст вологи в текстильних матеріалах суворо регламентується стандартами. Зайва вологість підвищує їх вартість, тому що споживачеві доводиться оплачувати не чисту вагу матеріалу, а вагу матеріалу з вологою. Окрім цього, підвищена вологість робить більш дорогим і перевезення матеріалів, оскільки окрім самого матеріалу доводиться оплачувати і перевезення вологи [2]. Тому контроль вологості необхідний для правильного розрахунку кількості матеріалу та забезпечення необхідної якості продукції.

**Постановка завдання.** Для визначення найбільш ефективного методу експрес-контролю вологості тканин необхідно розглянути існуючі методи, проаналізувати та оцінити їх недоліки та переваги, обрати найбільш ефективний.

**Результати дослідження.** Аналізу та розробці ефективних методів і засобів контролю вологості різноманітних матеріалів присвячена велика кількість як закордонних, так і вітчизняних робіт [3, 4, 5, 6]. Загалом методи вимірювання вологості можна поділити на прямі, які ґрунтуються на розділенні досліджуваної тканини на вологу частину та сухий залишок, та непрямі, в яких вологість досліджуваної тканини визначають за допомогою фізично пов'язаних величин [4, 7].

За способом виділення води з матеріалу прямі методи, які використовують на виробництві та в умовах лабораторії, діляться на термогравіметричний, дистиляційний, екстракційний та хімічні методи [2].

При контролі термогравіметричним методом відбувається висушування проби матеріалу при певній температурі до постійної маси, яка приймається за суху масу, а різниця між початковою та кінцевою масою приймається за масу води. Вологість визначається за формулою [3]:

$$\gamma = \frac{m - m_c}{m_c} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $m$  – початкова маса матеріалу,  $m_c$  – кінцева маса матеріалу після висушування.

Дистиляційний метод вимірювання вологості полягає в нагріванні зразка, який досліджується, в посудині з певною рідиною, яка не змішується з водою. Пари води, які виділяються при нагріванні, і пари рідини піддаються перегонці в холодильнику, конденсована в ньому вода стікає в посудину, в якій вимірюється її об'єм (дистиляційно-волюмометричний метод) або маса (дистиляційно-гравіметричний метод)[4].

Екстракційні методи вимірювання вологості засновані на ефекті вилучення вологи з матеріалу за допомогою вологопоглинаючої речовини (екстрагента), в якості яких використовують переважно спирти та діоксани [4].

Хімічні методи засновані на взаємодії матеріалу з реагентом, що вступає в хімічну реакцію тільки з вологою, яка є в матеріалі. Кількість вологи в матеріалі визначається за кількістю рідкого або газоподібного продукту реакції.

Хоча перераховані вище прямі методи володіють достатньою точністю вимірювання вологості, проте основним недоліком, який унеможлиблює їх використання для проведення оперативного контролю в умовах виробництва є тривалий час вимірювання, необхідність відбору та спеціальної підготовки проб матеріалу і достатньо складні технічні засоби [8].

Для оперативного контролю вологості тканин як в лабораторних, так і виробничих умовах все більш широке застосування знаходять непрямі методи вимірювання вологості, при яких безпосереднє вимірювання вмісту вологи досліджуваного матеріалу замінюється вимірюванням іншої фізичної величини, зміна якої функціонально пов'язана зі зміною вологості досліджуваного матеріалу. Непрямі методи забезпечують оперативність вимірювання, неруйнівний контроль та високу чутливість до змін вологості [9]. До непрямих методів належать: кондуктометричні, діелькометричні (НВЧ, ємнісний, термоелектричний), радіаційні, ЯМР та оптичні методи.

Визначення вологості з використанням НВЧ методу базується на аналізі електромагнітних хвиль, які відбиваються або проходять через матеріал. Як інформаційний параметр використовуються: амплітуда, фаза, кут повороту площини поляризації лінійно-поляризованої площини електромагнітної хвилі. Основним недоліком цього методу є його чутливість не тільки до вологи, але і до товщини матеріалу, до наявності інших домішок розчинників та барвників. НВЧ вологоміри не отримали поки що широкого розповсюдження через складність і високу вартість обладнання [10].

Серед радіаційних методів можна виділити нейтронний та рентгенівський. Фізичною основою нейтронного методу є сповільнення ядрами водню, що є у вологому матеріалі, швидких нейтронів, які гублять частину своєї енергії і перетворюються в повільні чи теплові із значно меншою енергією. Рентгенівський метод більш чутливий, ніж нейтронний, через сильне поглинання вологою рентгенівського випромінювання, джерелом якого є рентгенівська трубка. Метод придатний для дослідження розподілу вологи по об'єму зразка в процесі сушіння чи зволоження. Очевидним недоліком, який не дозволяє використовувати радіаційні методи на виробництві, є необхідність біологічного захисту оператора, що проводить контроль.

Одним із перспективних методів аналізу текстильних матеріалів є ядерний магнітний резонанс. Явище ЯМР засновано на поглинанні або випусканні енергії при переходах ядер між різними енергетичними станами [11]. Однак висока вартість, складність (а отже, і потреба у висококваліфікованому обслуговуванні) обмежують поки що сферу використання таких вологомірів [12].

Оптичні методи полягають у дослідженні залежності оптичних властивостей матеріалів від вмісту вологості. Для твердих матеріалів використовуються інфрачервона і видима області спектра. Перевагою оптичних методів є безконтактність вимірювань, низька залежність від температури навколишнього середовища, неперервність контролю, можливість інтегральної оцінки вологості у великих об'ємах [13]. Широкого застосування на текстильному виробництві оптичні методи не здобули, оскільки вони потребують складного апаратного забезпечення, особливо якщо необхідна висока точність вимірювань.

Кондуктометричний метод заснований на залежності питомої, об'ємної провідності, що вимірюється на постійному струмі, від вмісту вологи. Недоліком методу є значна похибка вимірювання (6-8%), обумовлена тим, що питома електропровідність, окрім вмісту води в речовині, дуже сильно залежить від його в'язкості, концентрації електроліту, структури і температури. Даний метод застосовується зрідка і в тих випадках, коли не вимагається висока точність.

Ємнісний метод вимірювання вологості тканин заснований на тому, що діелектрична проникливість вологої тканини є лінійною функцією її вологоутримання, зазвичай вираженою у відсотках. Тому що діелектрична проникливість сухої тканини зазвичай невелика (2,0-5,0), а діелектрична проникливість води значно більше (81,0), то навіть при невеликій зміні вмісту води в тканині відбувається відчутна зміна діелектричної проникливості матеріалу [14].

У вимірювальній схемі ємнісного вологоміра (рис. 1), що працює на принципі визначення діелектричних втрат, ємність конденсаторного перетворювача визначається за допомогою паралельного резонансного контуру, що складається з індуктивності  $L$  і змінної ємності  $C_0$ . Контур зв'язаний з генератором високочастотних коливань через індуктивний чи ємнісний зв'язок. Резонанс в контурі досягається за допомогою змінного конденсатора  $C_0$ , а діелектричні втрати реального матеріалу можуть бути представлені опором  $R_x$ , який шунтує вимірювану ємність  $C_x$ . Як індикатор резонансу використовують вольтметр  $V$  [14].

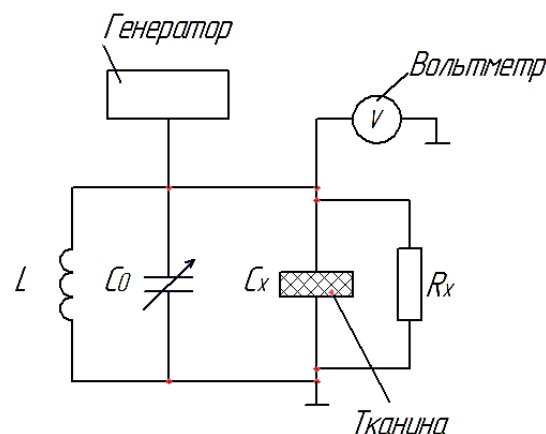


Рис. 1. Схеми ємнісного вологоміра

До недоліків ємнісного методу можна віднести неможливість вимірювання вологості тканин з великими діелектричними втратами, тому що внесення проби матеріалу в коливальний контур обумовлює зрив генерації.

Проведений аналіз показує, що найбільш придатними для проведення експрес-контролю вологості в даний час є оптичний та ємнісний метод. Оптичні вологоміри мають складну реалізацію блоків випромінювання / прийому (використання системи дзеркал, лінз, світлофільтрів, механічних частин модулятора та ін.), залежність потоку випромінювання від вологості оточуючого середовища та подекуди низьку чутливість [4]. Основний недолік оптичних вологомірів полягає в тому, що вологість вимірюється в поверхневому шарі, коли неоднорідність розподілення вологи по поверхні та в досліджуваній речовині, може стати причиною значних похибок вимірювання [15]. При цьому ємнісні вологоміри мають більш просту реалізацію, не поступаючись значно в точності оптичним. Вимірювання вологості ємнісним методом можна вважати миттєвою і відносно безконтактною процедурою, що дає можливість автоматизувати процеси контролю вологості, а також створити системи автоматичного управління для технологічних процесів виробництва.

При проведенні аналізу за даною тематикою, було виявлено, що сучасних розробок ємнісних вологомірів для експрес-контролю вологості на текстильному виробництві практично немає. Більше того, кожен вологомір повинен проектуватись під конкретні задачі і виробництва (універсальних вологомірів на даний момент не існує). Аналіз показує, що теоретичні основи ємнісних методів вимірювання вологи описані докладно в літературних джерелах, також докладно описана вимірювальна схема [2, 5, 12]. Проте слабкою ланкою є реалізація ємнісних витратомірів на застарілій елементній базі. Тому перспективним напрямком залишається модернізація вимірювальної схеми ємнісного вологоміра за допомогою сучасних розробок, яка буде враховувати параметри досліджуваного матеріалу та фактори навколишнього середовища, які також впливають на проведення контролю вологості.

Аналіз робіт [16, 17, 18, 19] дозволяє синтезувати вимоги до конструкції первинного перетворювача, вимірювальної схеми, каналів передачі та модулів обробки і збереження даних, а також розробити заходи по зменшенню впливу на результат вимірювання дестабілізуючих факторів, що дозволить зменшити сумарну похибку вимірювання вологості.

Перспективним напрямком при розробці ємнісних вологомірів є застосування технології прямого цифрового синтезу (Direct Digital Synthesis, або DDS), що знаходить широке застосування у вимірювальному, тестовому та комунікаційному обладнанні. DDS забезпечує цифрове керування амплітудою та фазою сигналу з високою роздільною здатністю (причому частота, амплітуда і фаза сигналу в будь-який момент часу точно відомі і підконтрольні). DDS дає можливість надзвичайно швидкої зміни частоти (або фази), а також переналаштовування за частотою без розриву фази, без викидів та інших аномалій, пов'язаних з часом встановлення. До того ж, цифровий інтерфейс дозволяє легко реалізувати мікроконтролерне керування мікросхемами DDS. Використання в якості збуджуючого генератора мікросхеми DDS дозволить розширити можливості налаштування вимірювального контуру ємнісного вологоміра та оперативного переналаштовування контуру в процесі контролю вологості.

Другою важливою задачею є оптимізація параметрів каналу вимірювання резонансних характеристик контуру, особливо попереднього підсилювача та аналого-цифрового перетворювача.

**Висновки.** За наведеним оглядом та аналізом можна відзначити наступні особливості методів вимірювання вологості текстильних матеріалів:

1. Прямі методи вимірювання вологості тканин придатні для використання у приладах лабораторного застосування, оскільки вони вимагають значних затрат часу та необхідність відбору і спеціальної підготовки проб матеріалу.

2. Експрес-контроль на виробництві можуть забезпечити непрямі методи вимірювання вологості, серед яких виділено ємнісний, тому що він забезпечує достатню точність вимірювання та простий в реалізації.

3. Хоча теоретичні основи ємнісних методів вимірювання вологості описані докладно, проте актуальним залишається завдання удосконалення вимірювальної схеми ємнісного вологоміра.

#### Список використаної літератури

1. Steve Hale. The importance of humidity control in textile processing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.condair.co.uk/knowledge-hub/the-importance-of-humidity-control-in-textile-processing> (дата звернення 25.05.2015). – Назва з екрана.
2. Мелкумян В.Е. Измерение и контроль влажности материалов / В.Е. Мелкумян. – М. Издательство комитета стандартов, 1970. – 139 с.
3. Контроль влажности текстильных материалов / А.Б. Брут-Бруляко, В.Г. Кравченко, М.Ю. Таратин // Научный вестник КГТУ. – 2009. – №2 (21). – С. 1-5.
4. Богачук В.В. Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів: монографія / В.В. Богачук, Б.І. Мокін. – Вінниця, 2008. – 141 с.
5. Осадчук В.С. Частотні перетворювачі для контролю вологості нафтопродуктів: монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. С. Звягін. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 152 с.
6. R. Wernecke, J. Wernecke, Industrial Moisture and Humidity Measurement: A Practical Guide, Publisher: Wiley VCH, 2014, 520 p. – ISBN: 3527331778.
7. Йордан Г.М. Методи та обладнання для визначення вологості, що використовуються в засобах автоматизації процесів висушування / Г. М. Йордан // Квалілогія книги. - 2010. - № 2. - С. 67-76. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kk\\_2010\\_2\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kk_2010_2_14)
8. Мухитдинов М. Оптические методы и устройства контроля влажности / М. Мухитдинов, Э.С. Мусаев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 96 с.
9. Берлинер М.А. Измерение влажности: Изд. 2-е, перераб. и доп. / М.А. Берлинер. – М.: «Энергия», 1973. – 400 с.
10. Исмагулаев П.Р. Сверхвысокочастотная влагометрия и проблемы метрологического обеспечения. / П.Р. Исмагулаев, П.И. Каландаров // Приборы. – 2011. - №7. – С. 40-44.
11. Грушка І.Г. Методи і засоби вимірювання вологості матеріалів та середовищ / І.Г. Грушка // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. – 2005. - №254. – С. 169-187.

12. Кричевский Е.С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов / Е.С. Кричевский, А.Г. Волоченко, С.С. Галушкин; под ред. Е.С. Кричевского. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.
13. Кричевский Е.С. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов / Е.С. Кричевский, В.К. Бензарь, М.В. Венедиктов [и др.]; под ред. Е.С. Кричевского. – М.: Энергия, 1980. – 240 с.
14. Лапшин А.А. Электрические влагомеры / А.А. Лапшин. – М.: Госэнэргоиздат, 1960. – 117 с.
15. Осадчук В.С. Проблеми вимірювання вологості нафтопродуктів та метод підвищення його точності, В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, О.С. Звягін // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ. – 2010. – №1(27). – С. 135-139.
16. Пат. 61037 Российская Федерация, МКІ G 01 N 27/22. Устройство для измерения влажности кожевенного сырья / Д. С. Лычников, М.В. Антонова, Н. В. Берлова, И. М. Гордиенко, Л. К. Земцова, С. А. Крылова, Н. П. Кутепова, Г. В. Луковенко, А. И. Сапожникова; заявитель и патентообладатель Московская гос. акад. вет. медицины и биотехнологии им. К. И. Скрябина. – № 2006138176/22; заявл. 12.02.2006; опубл. 30.10.2006; Бюл. № 17.
17. Пат. 12664, МПК D06H 3/12. Пристрій для контролю вологості тканини / О.М. Баржник, Г.В. Рудакова, М.Б. Єдинович, Ю.С. Решетняк, М.А. Сагірова, М.С. Руденко, Л.В. Веселовський, О.В. Смаглюк; заявник та патенто власник Херсонський держ. тех. ун-т. – № u200508370; заявл. 29.08.2005; опубл. 15.02.2006; Бюл. № 2.
18. Рудик А.В. Застосування амплітудно-фазового методу для вимірювання вологості речовин / А.В. Рудик, В.А. Рудик // Методита прилади контролю якості. – 2013. – №2(31). – С. 29-35.
19. Sheetal B. Kamble, Uday A. Patil CAN based System for Monitoring and Controlling Humidity and Temperature in Textile Industry, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), Volume 10, Issue 6 Ver. I (Nov – Dec. 2015), PP 98-102.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ЕВСТРАТЕНКО И.Г., ГАЛАГАН Р.М.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»*

**Цель.** Анализ методов определения влажности текстильных материалов. Выбор оптимального метода является важной задачей, решение которой позволяет проводить экспресс-контроль качества готовой продукции на текстильном производстве.

**Методика.** Использовано системно-структурный анализ в изучении научных литературных источников.

**Результаты.** Исследованы прямые и косвенные методы контроля влажности текстильных материалов.

**Научная новизна.** Предложено выполнения неразрушающего метода экспресс-контроля влажности текстильных материалов на основе емкостного метода.

**Практическая значимость.** Предложен оптимальный метод определения влажности текстильных материалов в процессе производства.

*Ключевые слова:* влажность, методы контроля, измерение влажности, текстильные материалы.

## **ANALYSIS METHODS OF HUMIDITY CONTROL OF TEXTILE MATERIALS**

YEVSTRATENKO I.H., GALAGAN R.M.

*National technical university of Ukraine «Kiev polytechnic institute»*

**Purpose.** Analysis methods of determining moisture of textile materials. Choosing the best method is an important task, whose solution provides the ability to conduct rapid quality control of finished products for the textile industry.

**Methodology.** Used system-structural analysis in the study of scientific literature.

**Findings.** Researched the direct and indirect methods of humidity control of textile materials.

**Originality.** Chosen as the most suitable for rapid control of textile manufacturing non-destructive method of humidity control of textile materials.

**Practical value.** Proposed optimum method for determining humidity of textile materials in the production process.

**Keywords:** *humidity, methods of control, measurement of humidity, textiles.*