

## **HYBRYDOWA METODA POMIARU WILGOTNOŚCI DREWNA**

**Roman IVAKH<sup>1</sup>, Taras DOMINYUK<sup>2</sup>**

1. Instytut Technologii Komputerowych, Automatyki i Metrologii Narodowego Uniwersytetu "Politechnika Lwowska", Katedra Technologii Informacyjno-Pomiarowych, ul. St. Bandery 28a, 79013 Lwów  
tel.: +38 (032) 258-76-14, +38 (032) 258-24-80, e-mail: ivakh.r@gmail.com
2. Instytut Technologii Komputerowych, Automatyki i Metrologii Narodowego Uniwersytetu "Politechnika Lwowska", Katedra Technologii Informacyjno-Pomiarowych, ul. St. Bandery 28a, 79013 Lwów  
tel.: +38 (032) 258-76-14, +38 (032) 258-24-80, e-mail: taras.dominyuk@gmail.com

**Streszczenie:** W artykule dokonano analizy wpływu czynników zakłócających (temperatura, gęstość, szczelność, itp.) na wyniki pomiaru wilgotności drewna. W oparciu o dostępne analityczne zależności zawartości wilgoci w drewnie, zaproponowano jednocześnie stosowanie kilku metod dla pomiarów wilgotności drewna. W wypadku prawidłowego wyboru tych metod i racjonalnego dopasowania odpowiadających funkcji – w znacznym stopniu można zmniejszyć negatywny wpływ czynników zakłócających na wynik pomiaru wilgotności.

**Słowa kluczowe:** wilgotność drewna, metoda pojemnościowa, metody hybrydowe, funkcje dopasowywania, metoda radiometryczna

### **1. WPROWADZENIE**

Obecnie podstawowymi kwestiami działalności przedsiębiorstw produkcyjnych jest nieustanne zwiększenie efektywności pracy i wykorzystania zasobów, a również – osiągnięcie coraz wyższych wskaźników jakości wytwarzanej produkcji. Doświadczenie prosperujących firm wskazuje, że osiągnięcie sukcesów w dużym stopniu zależy od poziomu wdrażania mechanizacji i automatyzacji w cyklu produkcyjnym, które dodatkowo umożliwiają stosunkowo szybko, elastycznie i operatywnie modyfikować procesy produkcyjne, zgodnie z najnowszymi osiągnięciami nauki i techniki. Wszystko, co wyżej przedstawiono, dotyczy również przemysłu obróbki drewna.

Jedną z najważniejszych kwestii przemysłu obróbki drewna jest proces suszenia, od efektywności którego, w dużym stopniu zależy efektywność produkcji, a również jakość produkowanych wyrobów. Proces automatyzacji procesu suszenia drewna wymaga stosowania niezawodnych i dokładnych czujników wilgotności. Trudność pomiaru wilgotności drewna polega na tym, że na mierzoną wielkość fizyczną, funkcjonalnie związaną z wilgotnością, w trakcie pomiaru istotnie wpływają czynniki zakłócające. Niektóre z nich mogą być mierzone bezpośrednio i uwzględnione poprzez wprowadzenie poprawek. Należy również zauważyć, że bezpośredni pomiar czynników wpływających, takich jak gęstość drewna w całkowicie suchym stanie, jego temperatura, orientacja włókien w strukturze itp., nie jest łatwiejszym zadaniem niż sam pomiar wilgotności. Dlatego korzystanie z tradycyjnych metod zwiększania dokładności

pomiaru poprzez wprowadzenie poprawek nie daje zadowalających wyników.

Inny sposób poprawy dokładności pomiaru polega na łączeniu metod, w których pomiar wilgotności odbywa się zasadniczo różnymi sposobami, a następnie użycia specjalnego przetwarzania wyników pomiarów. Tym sposobem w dużym stopniu kompensuje się negatywne skutki oddziaływania czynników wpływających i zakłócających na wynik pomiaru. Można przy tym zauważyć, że zwiększenie dokładności pomiaru metodami hybrydowymi, wiąże się z istotną komplikacją konstrukcji czujników, obwodów elektronicznych i sposobów opracowania wyników pomiarów bezpośrednich.

### **2. CEL PRACY I ZASADY TEORETYCZNE**

Aktualnie do kontroli wilgotności drewna najczęściej stosuje się metodę pojemnościową, której zasada działania opiera się na dobrze znanej zależności przenikalności dielektrycznej, a tym samym strat dielektrycznych, od zawartości wody w drewnie. Wilgotnościomierze pojemnościowe wskazują wartość średnią pomiędzy minimalną i maksymalną wartością zawartości wilgoci w drewnie, zmierzone dla pewnej głębokości wnikania pola elektrycznego. Metoda ta jest szeroko stosowana przede wszystkim ze względu na łatwość dokonania pomiaru. Jednak nieprawidłowe jej użycie może negatywnie wpływać na wyniki pomiarów. Metoda pojemnościowa jest w dużym stopniu wrażliwa na gęstość drewna. Przy tej samej wilgotności drewna, wskazania przyrządu będą się istotnie różniły w pobliżu sęków, w stosunku do wskazań w pozostałym obszarze badanej próby.

Również, na przykład w czasie pomiaru wilgotności forniru łupanego, fluktuacja jego grubości negatywnie wpływa na uzyskane wyniki, znacznie zmniejszając ich wiarygodność. Poza nie zawsze oczywistym, lecz również znaczącym wpływem fluktuacji grubości na wynik pomiaru wilgotności forniru struganego, mają znacznie także jego szerokość i położenie na wylocie z komory suszącej. Także na wynik pomiaru wilgotności masy wiórowej istotnie wpływa jej gęstość. Oprócz tego, właściwości elektryczne drewna w znacznym stopniu zależą od jego temperatury.

Realizacja pomiaru dla tak szerokiego zakresu czynników, bezpośrednio negatywnie wpływających na wynik pomiaru wilgotności, jest bardzo trudnym zadaniem, co z kolei prowadzi do istotnego skomplikowania konstrukcji i obwodów pomiarowych wilgotnościomierzy. Przede wszystkim, w trakcie projektowania takich urządzeń, należałoby stosować metody pomiarów wilgotności, które zapewniają największe czułości mierzonego parametru fizycznego do zawartości wody. To pozwala zmniejszyć bilans ewentualnych błędów, które muszą być kompensowane i jednocześnie uprościć konstrukcje projektowanych urządzeń.

Ciekawym sposobem na podwyższenie dokładności i niezawodności pomiaru wilgotności, jest jednoczesne stosowanie metod pojemnościowych i radiometrycznych. Istotą tego połączenia oraz podstawowych etapów przetwarzania wyników pomiarów, można zrozumieć na podstawie następujących rozważań teoretycznych. Dla pojemnościowej metody pomiaru zachodzi związek:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon' (W) S}{\delta}, \quad (1)$$

gdzie:  $C$  – pojemność kondensatora czujnika wilgotności,  
 $S$  – powierzchnia okładek kondensatora czujnika,  
 $W$  – wilgotność forniru,  
 $\delta$  – grubość badanego forniru,  
 $\epsilon_0$  – stała dielektryczna,  
 $\epsilon'$  – względna przenikalność forniru.

Z drugiej strony, dla metody radiometrycznej zachodzi związek:

$$I = I_0 e^{-\mu_l (W) \delta}, \quad (2)$$

gdzie:  $\mu_l$  – liniowy współczynnik pochłaniania forniru,  
 $I$  – natężenie strumienia promieniowania,  
 $I_0$  – natężenie strumienia promieniowania bezpośrednio na obiekcie badania

W celu wyeliminowania negatywnego wpływu grubości forniru na wynik pomiaru wilgotności, odpowiednim jest stosowanie funkcji dopasowywania  $F(I, C)$

typu  $F = C \cdot \ln \frac{I_0}{I}$ . Tak więc uzyskuje się:

$$F = \epsilon_0 \epsilon (W) S \mu_l (W). \quad (3)$$

Jeżeli zaistnieje potrzeba kompensowania nie tylko fluktuacji grubości, ale i szerokości forniru, to można stosować kombinację dwóch innych metod pomiaru zawartości wilgoci drewna: pojemnościowej i impedancyjnej na różnych częstotliwościach. Dlatego warto użyć funkcji dopasowywania typu  $F = G/C$ .

Kondensatorowy dwustronny stykowy czujnik wilgotności przy pomiarze pojemności  $C$  i konduktancji  $G$  dla różnych częstotliwościach daje następujące wyniki:

$$G = \frac{\gamma(W) S}{\delta}, \quad C = \frac{\epsilon(W) S}{\delta}, \quad (4)$$

gdzie:  $\gamma(W)$  – przewodność forniru.

Jak widać, korzystając z zależności (4), dopasowana funkcja typu  $F = G/C$  nie zależy już od grubości  $\delta$  i powierzchni forniru  $S$ .

Analogiczne podejście może być również wykorzystane i do kompensacji wpływu innych czynników zakłócających, na przykład temperatury.

### 3. OPIS METODY

Przy mierzeniu wilgotności forniru, jak już wspomniano wcześniej, na pierwszym etapie niezbędnym jest kompensowanie negatywnego wpływu na wynik pomiaru fluktuacji grubości materiału. W tym przypadku, dla każdej ze stosowanych metod pomiarowych, trzeba a priori posiadać wiedzę o zależnościach parametrów mierzonych od wilgotności i grubości forniru:

$$\begin{aligned} K_1 &= f_1(W, \delta); \\ K_2 &= f_2(W, \delta). \end{aligned} \quad (5)$$

Warunek zmniejszenia negatywnego wpływ fluktuacji grubości forniru metodą połączoną, można zapisać w następujący sposób:

$$\frac{\partial F(K_1, K_2)}{\partial \delta} = 0. \quad (6)$$

Rozwiązanie tego równania różniczkowego daje pożądaną funkcję  $F(K_1, K_2)$ . Funkcja ta będzie użyteczna przy spełnieniu warunków niejednoznaczności charakterystyki statycznej i czułości  $\frac{\partial F}{\partial W} \neq 0$ . Dla

niektórych par metod jednoparametrowych równanie (6) może nie mieć rozwiązania. Równanie (6), w wypadku połączenia metod pojemnościowej i radiometrycznej, można zapisać w następujący sposób:

$$\frac{\partial F}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial \delta} + \frac{\partial F}{\partial I} \frac{\partial I}{\partial \delta} = 0. \quad (7)$$

Różniczkowanie równań (1) i (2) względem  $\delta$  daje następującą zależność

$$\frac{\partial C}{\partial \delta} = -\frac{\epsilon_0 \epsilon (W) S}{\delta^2}, \quad \frac{\partial I}{\partial \delta} = -\mu(W) I_0 e^{-\mu(W) \delta}. \quad (8)$$

Po podstawieniu otrzymanych wyrazów w równanie (7), warunek (6) ostatecznie nabierze takiego wyglądu:

$$C \frac{\partial F}{\partial C} + \ln \frac{I_0}{I} \cdot I \frac{\partial F}{\partial I} = 0. \quad (9)$$

Rozwiązanie tego równania podano w pracy [10], a końcowy wynik wygląda następująco:

$$F = C \cdot \ln \left| \frac{I}{I_0} \right|. \quad (10)$$

Po podstawieniu danych, jako wynik końcowy z pomiarów  $C$  i  $I$  z wyrazów (1) i (2) otrzymuje się wyrażenie,

które już nie zależy od grubości forniru w całym zakresie wilgotności:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon(W) \mu(W) S. \quad (11)$$

#### 4. PODSUMOWANIE

Stosowanie metod hybrydowych przy pomiarze wilgotności daje możliwość dość skutecznego wyeliminowania wpływu na wyniki pomiarów niektórych czynników zakłócających, ale stawia przy tym, wyższe wymagania odnośnie konstrukcji czułych elementów czujników wilgotności.

Chociaż wzrost dokładności pomiaru wilgotności metodą hybrydową osiąga się przy użyciu złożonego algorytmu przetwarzania wyników, to jednak zastosowanie nowoczesnych elementów obwodów elektronicznych pozwala na rozwiązanie tego zadania.

Metody hybrydowe w znacznym stopniu zwiększają zarówno dokładność jak i wiarygodność wyników pomiaru wilgotności, a to z kolei, prowadzi do skutecznej optymalizacji procesów technologicznych i do podwyższenia jakości wyrobów przemysłu drzewnego.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Роман Івах, Михайло Дорожовець, Іван Питель. Систематизація методів вимірювання вологості сипких матеріалів // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2003. – Вип. 62. С. 97–101.
2. Кричевский Е. С., Волченко А. Г., Галушкин С. С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов. – Москва: Энергоатомиздат, 1987.
3. Гусев Ю.А. Основы диэлектрической спектроскопии: Учебное пособие. – Казань, 2008. – 112 с.
4. Берлинер М. А. Измерения влажности. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
5. Форейт И. Емкостные датчики неэлектрических величин / Перевод с чешского В. И. Дмитриева. Москва–Ленинград: Энергия, 1966.
6. Ничуговский Г.Ф. Определение влажности химических веществ. – Л.: Химия, 1977. – 200 с.
7. Бензарь В. К. Техника СВЧ-влажнометрии. Мн., 1974.
8. Лисовский В. В. Теория и практика сверхвысокочастотного контроля влажности сельскохозяйственных материалов. Мн., 2005.
9. Измерения в промышленности. Справ. изд. В 3-х кн. Кн.2. Способы измерения и аппаратура. Пер. с нем./ Под ред. Профоса П. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1990. – 384 с.
10. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Бронштейн И.Н. Семендяев К. А. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 706 с.

### THE COMBINED METHOD OF MEASURING WOOD MOISTURE

Established that to achieve high measurement accuracy and eliminate the effect of non-informative parameters (temperature, density, thickness of wood, etc.) during the measurement of wood moisture should be used hybrid methods, which are based on the combined search tool that meets specifications.

**Keywords:** wood moisture, capacitive method, combined method, combined function, radiometric method