



УКРАЇНА

(19) UA (11) 36171 (13) U

(51) МПК (2006)

G01N 22/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ

1

2

(21) u200807446

(22) 30.05.2008

(24) 10.10.2008

(46) 10.10.2008, Бюл.№ 19, 2008 р.

(72) ВОДОТОВКА ВОЛОДИМИР ІЛЛІЧ, UA, ДО-  
МАЛЕВСЬКИЙ СВЯТОСЛАВ ІВАНОВИЧ, UA(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, UA

(57) Спосіб вимірювання вологості деревини, при якому попередньо зважують зразок деревини, підсушують його, знову зважують, сушать до отримання постійного значення його ваги та визначають його вологість за формулою, який **відрізняється** тим, що після кожної операції перед визначенням вологості проводять зондування зразка деревини електромагнітним випромінюванням та вимірюють потужність НВЧ поля відбитої

хвилі при векторі поляризації, спрямованому впродовж, а потім поперек волокон деревини, а вологість деревини визначають за формулою:

$$w = \frac{(P_{1B} - P_{2B}) - (P_{5B} - P_{6B})}{(P_{3B} - P_{1B}) - (P_{4B} - P_{2B})} \cdot \Delta w_0,$$

де  $P_{1B}, P_{3B}, P_{5B}$  - потужність відбитої від зразка НВЧ хвилі, що поляризована при спрямованості на зразок впродовж волокон;

$P_{2B}, P_{4B}, P_{6B}$  - потужність відбитої від зразка НВЧ хвилі, що поляризована при спрямованості на зразок поперек волокон;

$\Delta w_0$  - зменшення вологості зразка після підсушування його перед третім та четвертим вимірюванням потужності.

Корисна модель відноситься до вимірювальної техніки контролю складу речовин із застосуванням електромагнітних коливань НВЧ і може бути використана для вимірювання вологості напівфабрикатів виробів з деревини - дошок, бруса, фанери, паркетних плиток та ін. в технологічних процесах деревообробної промисловості

Відомий спосіб вимірювання вологості речовини [див. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов / Кричевский В.С., Бензарь В.К., Венедиктов М.В. и др.; - М.: Энергия, 1980. - с. 112], який включає порівняння маси вимірювального зразка з масою взірцевого зразка, що тривало зберігається, щоб періодично його застосовувати в метрологічних повірках засобів контролю.

Однак, особливістю деревини як об'єкту вимірювання є зміна її вологості в процесі зберігання за рахунок випаровування або зволоження атмосферним повітрям. Тому використати якийсь один чи багато інших зразків деревини, як взірцевих, є недоцільним, так як виникає велика похибка за рахунок випаровування частини вологи. Ненадійним є також виготовлення імітатора вологого зразка деревини, тому що кількість варіацій структурного складу дерева дуже значна.

Відомий також спосіб вимірювання вологості деревини [див. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов / Кричевский В.С., Бензарь В.К., Венедиктов М.В. и др.; - М.: Энергия, 1980. - с.112.], при якому попередньо зважують зразок деревини, підсушують його, знову зважують, сушать до отримання постійного значення його ваги та визначають вологість зразка деревини за співвідношенням:

$$w = \frac{m_0 - m_k}{m_0} \cdot 100, [\%]$$

де  $m_0$  - початкова маса вологого зразка;  
 $m_k$  - кінцева маса сухого зразка.

При здійсненні відомим способом виникає така проблема як велика тривалість контролю вологості, що затримує оперативність корекції технологічних процесів деревообробного виробництва та похибка визначення результату, що зумовлена багаторазовим переміщенням зразка від сушарки та ваг, при якому волога безконтрольно випаровується в навколишнє середовище.

В основу корисної моделі поставлена задача створити такий спосіб вимірювання вологості деревини, в якому шляхом введення додаткових операцій забезпечилось би підвищення точності

(13) U

(11) 36171

(19) UA

вимірювання вологості деревини в деревообробній промисловості.

Поставлена задача вирішується тим, що попередньо зважують зразок деревини, підсушують його, знову зважують, сушать до отримання постійного значення його ваги, згідно з корисною моделлю, після кожної операції перед визначенням вологості, проводять зондування зразка деревини електромагнітним випромінюванням та вимірюють потужність НВЧ поля відбитої хвилі при векторі поляризації, спрямованому впродовж, а потім поперек волокон деревини, а вологість деревини визначають за формулою.

Проведення в способі зондування зразка деревини електромагнітним випромінюванням дає можливість виміряти потужність НВЧ поля відбитої хвилі, зондування зразка з вектором поляризації спрямованим впродовж, а потім поперек волокон деревини зменшує похибку, що підвищує точність вимірювання вологості деревини, та зменшується час затрачений на визначення вологості деревини.

На Фіг. зображено структурну схему вологоміра, який реалізує запропонований спосіб.

Вологомір містить цифровий генератор НВЧ 1, який своїм виходом приєднаний до входу циркулятора 2, що в свою чергу приєднаний до рупорної антени 3. Вихід циркулятора 2 з'єднаний зі входом цифрового мікровольтметра НВЧ 4. Вказані структурні частини, мікрохвильова піч 5 та цифрові ваги 6 поєднанні з ЕОМ 8 загальною шиною 7.

Спосіб вимірювання вологості деревини здійснюють наступним чином. Зразок вологої деревини з плоскою поверхнею, наприклад частина дошки, зважують на точних вагах 6, визначаючи його попередню масу  $m_0$ . Далі відібраний зразок вологої деревини зондується електромагнітним випромінюванням НВЧ, вектор поляризації якого спрямовано впродовж волокон деревини. Сигнал з цифрового генератора НВЧ 1, проходить через циркулятор 2 до рупорної антени 3, яка випромінює електромагнітну хвилю на зразок. Відбита частина електромагнітної хвилі спрямовується на циркулятор 2, який з'єднаний зі входом цифрового мікровольтметра НВЧ 4 і він фіксує потужність відбитої хвилі. Ці дані через шину 7 подаються на ЕОМ для запам'ятовування та подальшого обчислення. Визначається квадрат модуля амплітуди напруженості електричного поля відбитих від поверхні зразка електромагнітних хвиль НВЧ, що позначається як  $|E_{1b}|^2$

$$|E_{1b}|^2 = F \cdot |E_{n||}|^2 - |E_p|^2, \quad (1)$$

де  $|E_{n||}|^2$  - квадрат модуля амплітуди електричного поля подаючих електромагнітних хвиль НВЧ, вектор поляризації яких спрямовано впродовж волокон деревини;

$|E_p|^2$  - квадрат модуля амплітуди напруженості електричного поля розсіяних електромагнітних

хвиль НВЧ;

F - функція відгуку,

$$F = \frac{|E_{1b}|^2 + |E_p|^2}{|E_{n||}|^2} = aw + v$$

Функція відгуку в вузькому діапазоні зміни вологості зразка деревини є лінійною, а - коефіцієнт крутизни лінії регресії, v - адитивний зсув (вільний член).

Зважаючи на те, що квадрат модуля амплітуди електричного поля НВЧ пропорційний його потужності, рівняння (1) перетворюється в наступний вигляд:

$$P_{1b} = (aw + v) \cdot P_{n||} - P_p, \quad (2)$$

Друге значення потужності відбитої хвилі одержується спрямуванням вектора поляризації напруженості електричного поля НВЧ поперек волокон деревини,

$$P_{2b} = k(aw + v) \cdot P_{n\perp} - P_p, \quad (3)$$

де

k - коефіцієнт анізотропії деревинного тіла.

Мікрохвильова піч 5 має столик, який механічно з'єднаний з цифровими вагами 6. Це дозволяє безперервно слідкувати за зменшенням ваги зразка при сушці. Дані про миттєве значення ваги через шину 7 подаються на ЕОМ 8 для запам'ятовування та подальшого обчислення.

Вологість зразка деревини частково зменшується після нетривалого його нагріву в мікрохвильовій печі 5 на деяку величину  $\Delta w$ , яке визначається за гравіметричним методом

$$\Delta w = \frac{m_0 - m_i}{m_0} \cdot 100,$$

де  $m_0$  - початкова маса зразка до початку нагрівання;

$m_i$  - маса зразка після закінчення нагрівання та охолодження до початкової температури.

Проводимо зондування зразка деревини впродовж та поперек волокон:

Потужності відбитої хвилі після зменшення вологості зразка на відому величину  $\Delta w$  шляхом часткового висушування визначаються співвідношенням

$$P_{3b} = [a(w - \Delta w_0) + v] \cdot P_{n||} - P_p, \quad (4)$$

$$P_{4b} = k[a(w - \Delta w_0) + v] \cdot P_{n\perp} - P_p. \quad (5)$$

Нагріваємо зразок деревини в мікрохвильовій печі 5 до повного висушування, тобто до сталої величини його ваги і проводимо зондування зразка деревини впродовж та поперек волокон.

Потужності відбитої хвилі після повного висушування зразка деревини, має вигляд

$$P_{5b} = v \cdot P_{n||} - P_p, \quad (6)$$

$$P_{6b} = k \cdot v \cdot P_{n\perp} - P_p, \quad (7)$$

Співвідношення (2) ... (7) складають наступну систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} P_{1B} &= (aw + v) \cdot P_{nII} - P_p, \\ P_{2B} &= k(aw + v) \cdot P_{n\perp} - P_p, \\ P_{3B} &= [a(w - \Delta w_0) + v] \cdot P_{nII} - P_p, \\ P_{4B} &= k[a(w - \Delta w_0) + v] \cdot P_{n\perp} - P_p, \\ P_{5B} &= v \cdot P_{nII} - P_p, \\ P_{6B} &= k \cdot v \cdot P_{n\perp} - P_p \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Система рівнянь (8) має шість невідомих величин, з яких величина початкової вологості  $w$  зразка є тією, яку треба визначити,  $w$ ,  $P_n$ ,  $P_p$ ,  $a$ ,  $v$ ,  $k$ .

Система рівнянь має рішення при умові, що протягом часу виконання контролю вологості  $P_{nII} = P_{n\perp} = P = \text{const}$ ,  $P_p = \text{const}$ . Виконання цієї умови технічно можливе. Рішення системи (8) подається шляхом знаходження наступних проміжних результатів

$$P_{1B} - P_{2B} = (aw + v)(1 - k) \cdot P_n, \quad (9)$$

$$P_{5B} - P_{6B} = (1 - k)v \cdot P_n, \quad (10)$$

$$(P_{1B} - P_{2B}) - (P_{5B} - P_{6B}) = aw(1 - k) \cdot P_n, \quad (11)$$

$$P_{3B} - P_{1B} = a\Delta w_0 P_n, \quad (12)$$

$$P_{4B} - P_{2B} = a\Delta w_0 k P_n, \quad (13)$$

$$(P_{3B} - P_{1B}) - (P_{4B} - P_{2B}) = a\Delta w_0(1 - k) \cdot P_n, \quad (14)$$

$$N = \frac{(P_{1B} - P_{2B}) - (P_{5B} - P_{6B})}{(P_{3B} - P_{1B}) - (P_{4B} - P_{2B})} = \frac{aw(1 - k) \cdot P_n}{a\Delta w_0(1 - k) \cdot P_n} = \frac{w}{\Delta w_0}, \quad (15)$$

Кінцевий результат має вигляд

$$w = N\Delta w_0, \quad (16)$$

Кінцевий результат (16) не залежить від невідомих величин  $P_n$ ,  $P_p$ ,  $a$ ,  $v$ ,  $k$ , а визначається лише похибкою обчислення величини  $N$  та похибкою визначення величини  $\Delta w_0$ .

Вимірювання потужності відбитої хвилі НВЧ коливаний виконується згідно з рівняннями (2)... (7)... Вологомір працює за програмою, яка завантажена в постійну пам'ять ЕОМ. Програма ЕОМ передбачає виконання дій заявленого способу.

Зважаючи на те, що потужність НВЧ сигналу пропорційне модулю квадрата амплітуди електричного поля

$$P = \frac{|E_B|^2 \cdot S_{\text{еф}}}{120\pi},$$

де  $S_{\text{еф}}$  - ефективна площа розкриття рупорної приймально-передавальної антени, процес вимірювання описується відповідною системою з шести рівнянь, в яких фігурними дужками позначені величини, що перетворені в цифровий машинний код

$$\left. \begin{aligned} \{n_1\} &= R(1 + \alpha)[(aw + v) \cdot P_{nII} - P_p] + \{\Delta\}, \\ \{n_2\} &= R(1 + \alpha)[(aw + v) \cdot P_{n\perp} - P_p] + \{\Delta\}, \\ \{n_3\} &= R(1 + \alpha)[a(w - \Delta w_0) + v] \cdot P_{nII} - P_p + \{\Delta\}, \\ \{n_4\} &= R(1 + \alpha)[k[a(w - \Delta w_0) + v] \cdot P_{n\perp} - P_p] + \{\Delta\}, \\ \{n_5\} &= R(1 + \alpha)(v \cdot P_{nII} - P_p) + \{\Delta\}, \\ \{n_6\} &= R(1 + \alpha)k(v \cdot P_{n\perp} - P_p) + \{\Delta\} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

де

$R$  - коефіцієнт вимірювального перетворення каналового сигналу в цифровий код;

$\alpha$  - відносна мультиплікативна похибка;

$\{\Delta\}$  - абсолютна адитивна похибка.

Результат визначення вологості зразка деревини обчислюється ЕОМ

$$w = \{N\} \{\Delta w_0\}, \quad (18)$$

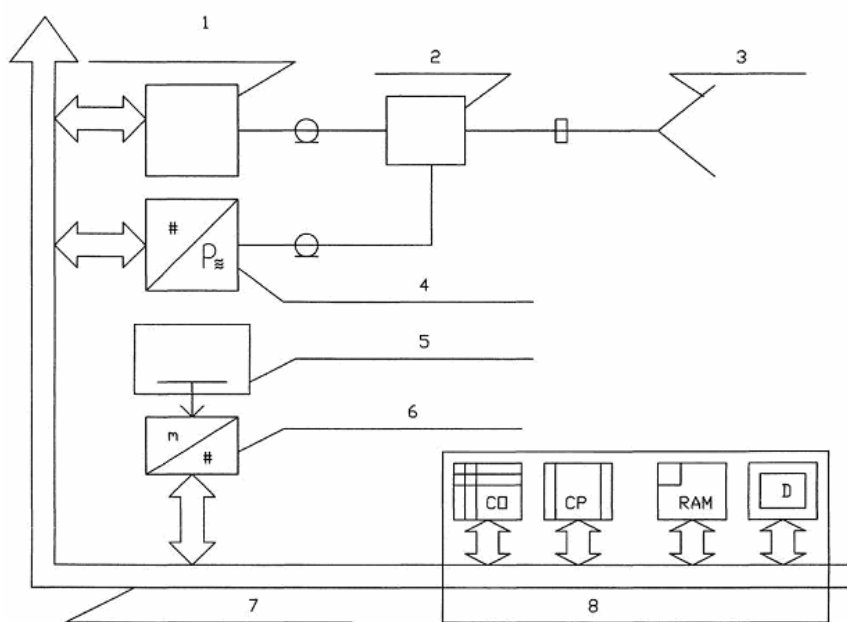
де

$$\{N\} = \frac{\{n_1\} - \{n_2\} - \{n_5\} + \{n_6\}}{\{n_3\} - \{n_1\} - \{n_4\} + \{n_2\}}$$

Співвідношення (18) вказує на те, що похибки цифрового мікроватметра НВЧ  $\alpha$  та  $\{\Delta\}$  не впливають на визначення вологості зразка деревини.

Результати вимірювань  $\{n_5\}, \{n_6\}$  (6), (7) одержані після повного висушування зразка, тому контроль вологості багатьох зразків деревини різних структур складає корисну інформаційну базу, а самі зразки при належному зберіганні є взірцевими мірами нульової вологості. Тому вимірювання (6), (7) є надлишковими.

Запропонований спосіб визначення вологості деревини виконує поставлену мету. В порівнянні з відомим гравіметричним способом його методична похибка є меншою за рахунок зменшення неконтрольованої втрати вологи під час багатьох переміщень зразка з термічної печі до аналітичних ваг.



Фіг.