



УКРАЇНА

(19) UA (11) 71301 (13) A  
(51) 7 G01N22/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ЕКСПРЕС- КОНТРОЛЮ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧОВИН У НВЧ ДІАПАЗОНІ

1

2

(21) 20031211853

(22) 18.12.2003

(24) 15.11.2004

(46) 15.11.2004, Бюл. № 11, 2004 р.

(72) Овсяніков Віктор Володимирович, Бухаров  
Сергій Володимирович, Овсяніков Володимир Вік-  
торович(73) ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ(57) Спосіб експрес-контролю якісних характе-  
стик речовин у НВЧ діапазоні, що включає етапи  
градування та вимірювання частотної залежності  
електромагнітних характеристик на вході прийма-  
льно-передавальної антени, яка випромінює елек-  
тромагнітну енергію змінної частоти від генератора  
нормально до поверхні речовини і одночасно при-  
ймає електромагнітну енергію, що відбита від цієї  
речовини, який **відрізняється** тим, що, на першо-  
му етапі вимірювань послідовно визначають і за-  
пам'ятовують дискретний набір градуйованих час-  
тотних залежностей коефіцієнта стоячої хвилі за

напругою на вході приймально-передавальної ан-  
тени в одному й тому ж НВЧ діапазоні для даної  
речовини з різними якісними характеристиками, на  
другому етапі визначають і запам'ятовують час-  
тотну залежність коефіцієнта стоячої хвилі за напру-  
гою у тому ж НВЧ діапазоні для речовини, яка до-  
сліджується з невідомою якісною  
характеристикою, на третьому етапі визначають  
невідому якісну характеристику речовини, яка до-  
сліджується шляхом послідовного порівняння час-  
тотної залежності коефіцієнта стоячої хвилі за на-  
пругою, одержаної на другому етапі з дискретним  
набором градуйованих залежностей, одержаних  
на першому етапі, і знаходять мінімум цільової  
функції, яка являє собою суму квадратів відносної  
різниці коефіцієнтів стоячої хвилі за напругою для  
речовини з невідомою якісною характеристикою і з  
відомими градуйованими якісними характеристи-  
ками для дискретних частот того ж НВЧ діапазону,  
причому вказану суму ділять на загальну кількість  
дискретних частот цього НВЧ діапазону.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки  
і може використовуватися для визначення якісних  
характеристик корисних копалин, будівельних ма-  
теріалів, товарів народного споживання та деяких  
стратегічних матеріалів, тощо.

У сучасній практиці використовуються гравіме-  
тричні методи вимірювань якісних характеристик  
речовин, електричні методи, нейронні, інфрачер-  
воні, методи надзвичайно високих частот (НВЧ) та  
інші (див., наприклад, Кричевский Е.С., Волченко  
А.Г., Галушкин С.С. Контроль влажности твёрдых  
и сыпучих материалов. -М.: Энергоатомиздат,  
1986; патенти SU №1608523 A1, 23.11.90р.; SU  
№1626135 A1, 07.02.91р.).

Недоліками відомих способів є невисока точ-  
ність вимірювань якісних характеристик речовин, у  
тому числі, на технологічному потоці.

З відомих способів вимірювання якісних харак-  
теристик речовин в НВЧ діапазоні найближчим до  
заявленого за технічною сутністю є спосіб, який  
реалізується у НВЧ пристрої для вимірювання  
вологості (патент RU №2132051 C1, G01N22/04,  
20.06.99р.). Вимірювання такої якісної характе-  
ристики речовини, як вологість за допомогою запате-  
нованого пристрою включає етапи градування та  
вимірювання частотної залежності електромагніт-  
них характеристик на вході приймально-  
передавальної антени, яка випромінює електрома-  
гнітну енергію змінної частоти від генератора нор-  
мально до поверхні речовини і одночасно приймає  
електромагнітну енергію, що відбита від цієї рече-  
вини. Цей пристрій забезпечує контроль вологості  
речовин шляхом вимірювання модуля коефіцієнта  
відбиття  $|\Gamma|$  від речовини, який пов'язаний з ком-

(13) A

(11) 71301

(19) UA

плексною діелектричною проникністю речовини такою залежністю:

$$|\Gamma| = \left(1 - \sqrt{\varepsilon' - i\varepsilon''}\right)^2 / \left(1 + \sqrt{\varepsilon' - i\varepsilon''}\right)^2. \quad (1)$$

У свою чергу діелектрична проникність ( $\varepsilon' - i\varepsilon''$ ) знаходиться в залежності від вологості речовини та інших його характеристик якості, що дозволяє авторам патенту приблизно визначати вологість речовини.

До недоліків цього способу можна віднести невисоку точність вимірювання за рахунок залежності похибки вимірювань від параметрів навколишнього середовища (температури, вологості повітря, барометричного тиску, тощо); від присутності в зоні вимірювань близько розташованих сторонніх предметів; від об'єму і товщини шару речовини, яка досліджується; від структури і щільності досліджуваної речовини.

Ця залежність підвищує відносну похибку вимірювань до  $\pm 15\%$  і більше.

В основу винаходу поставлена задача підвищення точності вимірювань і зменшення залежності результатів вимірювання характеристик речовин від параметрів навколишнього середовища; присутності в зоні вимірювань сторонніх предметів; об'єму, товщини шару і щільності речовини, яка досліджується.

Ця задача вирішується тим, що у способі експрес-контролю, який включає етапи градування та вимірювання частотної залежності електромагнітних характеристик на вході приймально-передавальної антени-датчика, яка випромінює електромагнітну енергію змінної частоти від генератора нормально до поверхні речовини і одночасно приймає електромагнітну енергію, що відбита від цієї речовини, новим є те, що на першому етапі вимірювань послідовно визначають і запам'ятовують дискретний набір (масив) градуйованих частотних залежностей коефіцієнта стоячої хвилі за напругою (КСХН) на вході приймально-передавальної антени в одному й тому ж НВЧ діапазоні для даної речовини з різними якісними характеристиками, на другому етапі визначають і запам'ятовують частотну залежність КСХН у тому ж НВЧ діапазоні для речовини з невідомою якісною характеристикою, яка досліджується, на третьому етапі визначають невідому якісну характеристику речовини, яка досліджується шляхом послідовного порівняння частотної залежності КСХН, яка одержана на другому етапі з дискретним набором (масивом) градуйованих залежностей, які одержані на першому етапі і знаходять мінімум цільової функції, яка являє собою суму квадратів відносної різниці коефіцієнтів стоячої хвилі за напругою для речовини з невідомою якісною характеристикою і з відомими градуйовальними якісними характеристиками для дискретних частот того ж НВЧ діапазону, причому вказану суму ділять на загальну кількість дискретних частот цього НВЧ діапазону.

З метою підвищення точності вимірювань і зменшення залежності результатів вимірювань характеристик речовин від параметрів навколишнього середовища; присутності в зоні вимірювань сторонніх предметів; об'єму, товщини шару і щільності речовини, яка досліджується, визначення набору градуйованих частотних залежностей

КСХН на першому етапі виконується в умовах, які максимально наближені до умов вимірювання на другому етапі частотної залежності КСХН конкретної речовини з невідомою якістю. Кількість градуйованих частотних залежностей КСХН, яка визначається на першому етапі і загальна кількість дискретних частот у діапазоні, який досліджується повинні бути максимально можливими.

На фіг.1 наведено структурну схему варіанту пристрою для реалізації запропонованого способу.

На фіг.2 наведено графіки дискретного набору частотних градуйованих експериментальних залежностей КСХН, одержаних на пристрої фіг.1 для різної вологості  $W$  вугілля марки "Г", який здобутий у Павлоградському районі Дніпропетровської області. Подібні залежності мають місце і для інших речовин різної якості.

Пристрій (фіг.1) складається з НВЧ-генератора 1, вентиля 2, спрямованих відгалужувачів 3, 4, високочастотних детекторів 5, 6, приймально-передавальної антени-датчика 7, речовини, яка досліджується 8, принтера 9, генератора розгортки 10, електронно-променевої трубки 11, вимірювача відношень 12, аналого-цифрового перетворювача 13, персонального комп'ютера 14, монітора 15.

Як можна бачити з фіг.1, високочастотна електромагнітна потужність, яка виробляється НВЧ-генератором 1, через вентиль 2 і спрямовані відгалужувачі 3 і 4 поступає на вхід приймально-передавальної антени 7 і випромінюється цією антеною у напрямку речовини 8, яка досліджується. Частина цієї потужності поглинається речовиною 8, яка досліджується, а частина, яка несе інформацію про якісну характеристику цієї речовини, відбивається від неї і приймається антеною 7. Таким чином, у НВЧ тракті проміж вентилем 2 та входом антени 7 одночасно існують дві хвилі: падаюча та відбита, які розповсюджуються у НВЧ тракті у взаємно протилежних напрямках. Генератор розгортки 10 керує частотою електромагнітної енергії, яку виробляє НВЧ генератор 1 та розгорткою вимірюваної КСХН на екрані електронно-променевої трубки і забезпечує плавну зміну цієї частоти у межах, яка задана оператором пристрою (фіг.1). Мала частина потужності, яка відгалужується приладами 3 і 4 поступає на високочастотні детектори 5 і 6 і після детектування подається на вимірювач відношень 12, який на низькій продетектованій частоті обчислює КСХН на вході антени 7 і спрямовує результуючу інформацію на електронно-променеву трубку 11 і одночасно на аналого-цифровий перетворювач 12. Аналого-цифровий перетворювач 13 перетворює аналогову інформацію у цифрову і передає її до персонального комп'ютера 14.

На фіг.2 наведено експериментальні графіки залежностей КСХН від вологості вугілля, які одержані за допомогою пристрою, структурна схема якого наведена на фіг.1: залежність 1 відповідає вологості  $W=2,0\%$ , залежність 2 -  $W=11,7\%$ , залежність 3 -  $W=25,3\%$  і залежність 4 -  $W=36,7\%$ . Як випливає з графіків, спостерігається значна чутливість частотної залежності КСХН від вологості вугілля, що дозволяє використовувати ці частотні залежності для ідентифікації і визначення неві-

домої якості (вологості) даної речовини, яка контролюється.

Визначення невідомої якісної характеристики речовини, у даному прикладі - вологості вугілля, виконується послідовним порівнянням цієї частотної залежності КСХН з дискретним набором градуированих відомих якісних характеристик, які записані заздалегідь у комп'ютері 14 (фіг.1) на першому етапі визначення частотних залежностей КСХН для низки речовин з відомими якісними характеристиками.

Такими характеристиками можуть бути, крім вологості різних речовин, зольність вугілля, наявність білку або клейковини у зерні пшениці, тощо.

Послідовне порівняння частотної залежності КСХН ( $K_2$ ) невідомої характеристики речовини з дискретним набором градуированих характеристик, записаних у пам'яті комп'ютера 14 (фіг.1) на першому етапі для речовин з відомими характеристиками ( $K_2$ ) виконується в автоматичному режимі на комп'ютері 14 відповідно з алгоритмом і програмою пошуку мінімуму цільової функції у вигляді:

$$Z(W) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \{K_2(f_j) - K_1(f_j, W_i)\}^2 / K_2(f_j)^2, \quad (2)$$

де  $N$  - загальна кількість дискретних частот у діапазоні, який досліджується;

$K_1(f_j, W_i)$  - КСХН речовини з відомою вологістю

$W_i$ , які виміряні у частотному діапазоні і записані у комп'ютері на першому етапі запропонованого способу;

$K_2(f_j)$  - КСХН речовини з невідомою вологістю

$W$ , який виміряний у тому ж частотному діапазоні

і записаний у комп'ютері 14 на другому етапі запропонованого способу.

Таким чином, комп'ютер 14 вирішує задачу пошуку мінімуму цільової функції (2) у всіх дискретних частотних точках одного й того ж частотного діапазону. У загальному вигляді цю задачу формулюємо так:

$$\min Z(W); W \in (W_1, W_2), \quad (3)$$

де:  $W_1$  і  $W_2$  - мінімальна та максимальна вологість дискретного набору градуированих частотних залежностей КСХН речовин з відомою якісною характеристикою (вологістю), відповідно.

Відповідно до запропонованого способу, вимірювання залежності КСХН на вході антени 7 у частотному діапазоні, тобто при виконанні частотного сканування, значно підвищує достовірність та розрахункову спроможність результатів вимірювання невідомих якісних характеристик речовин, які досліджуються. Визначена за формулами (2) і (3) якісна характеристика речовини оперативно видається на екран монітору 15 і при необхідності документується на принтері 9.

Позитивною якістю способу, який пропонується є також відсутність необхідності у руйнуванні речовини, яка досліджується в процесі вимірювання та корегуванні її об'єму і форми. Тобто має місце недоторканість речовини, яка досліджується. Відстань антени 7 від речовини 8, яка досліджується (фіг.1), вибирається з електродинамічних та конструктивних розумінь.

Порівняльні характеристики запропонованого способу з прототипом наведено у таблиці.

Таблиця

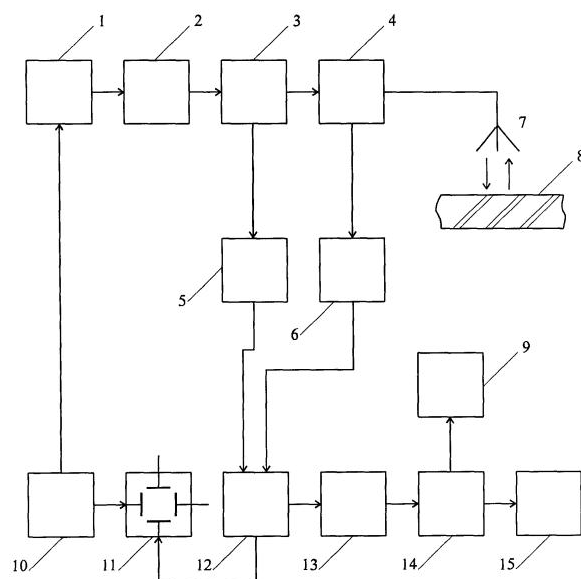
№ п/п	Найменування способу	Відносна похибка вимірювань, %	Залежність результатів вимірювань від впливу навколишнього середовища	Спроможність вимірювань на технологічному потоці	Вартість (відносна)
1	Спосіб, що заявляється	$< \pm 5$	Зменшена	Забезпечена	Невисока
2	Прототип	$\pm 10-15$	Суттєва	Обмежена	Невисока

Як випливає з таблиці, спосіб що заявляється (п.1 таблиці) має безумовну перевагу по головним характеристикам перед прототипом (п.2).

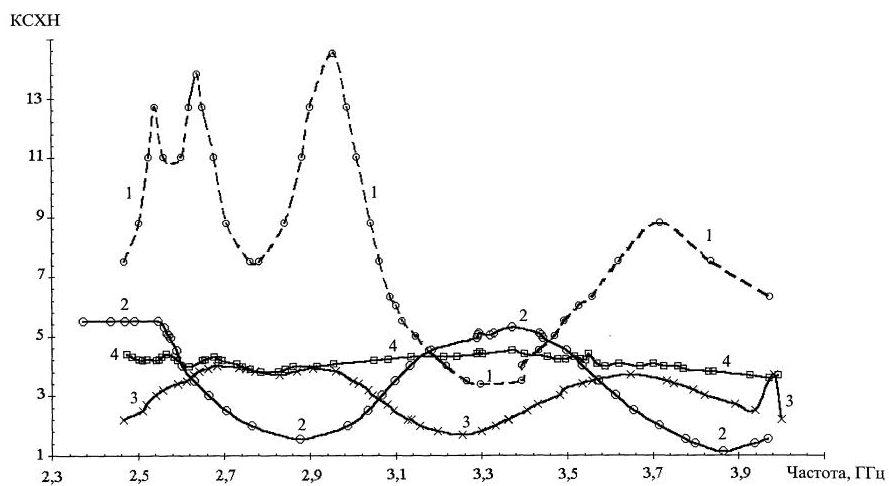
Спосіб, що заявляється пройшов випробування в лабораторії Дніпропетровського Національно-

го університету при вимірюванні вологості та зольності вугілля марки "Г", здобутого у Павлоградському районі Дніпропетровської області.

Результати випробувань позитивні.



Фіг.1



Фіг.2