
ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА РАДІОВИМІРЮВАНЬ

УДК 621.317

**ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВУГІЛЛЯ
РАДІОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ**

*Овсяников Вол. В., асистент кафедри електропостачання
Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ, Україна*

Вступ та постановка задачі

У теперішній час на більшості промислових підприємств контроль якісних характеристик вугілля таких, як зольність, калорійність або вологість здійснюється у спеціалізованих лабораторіях традиційними фізико-хімічними методами. Процедура діагностики пов'язана зі значними втратами робочого часу (до 7 годин на одну пробу) та коштів на придбання необхідних хімічних реактивів. При тому, паралельно з традиційними методами контролю давно розвиваються спектроскопічні, радіаційні, теплові, мікрохвильові та інші методи [1-4]. Наприклад, волого – та золівимірювачі вугілля, які випускаються у Російській Федерації Інститутом збагачення твердих горючих копалин, а також фірмою "Коилскэн" (Австрія), фірмою "Бертольд" (Німеччина), американською фірмою АВВ, тощо. Ці методи можуть використовуватися для поточного експрес-контролю речовин одночасно з традиційними методами та їх доповнювати. Однак, вони не завжди задовольняють сучасним вимогам відносно точності та оперативності одержання параметрів якості речовин.

Дана робота присвячена підвищенню точності та автоматизації контролю при визначенні параметрів якості вугілля радіометричним методом у діапазоні дециметрових та сантиметрових хвиль. Під інформаційними параметрами якості речовин маються на увазі, перш за все, діелектрична проникність та характеристики відбиття і згасання електромагнітних хвиль при опромінюванні досліджуваних речовин.

Методи досліджень параметрів якості речовин

Задача одержання від досліджуваної речовини електричних інформаційних сигналів про її якісні характеристики вирішується хвилеводними або резонаторними методами [3-5] за допомогою вимірювальних датчиків якості (ДЯ). Під хвилеводними та резонаторними вимірювальними ДЯ «закритого» типу розуміються такі, у яких опромінюючі електромагнітні (ЕМ) хвилі взаємодіють з досліджуваною речовиною в середині металевого вимірювального осередку. Під хвилеводними ДЯ «відкритого» типу розумі-

ються такі, у яких ЕМ хвилі випромінюються у вільний простір за межі датчика якості у напрямку досліджуваної речовини, відбиваються від неї і проходять скрізь неї, тим самим забезпечуючи визначення її якісних параметрів.

1 Підвищення точності визначення діелектричної проникності (ДП) вугілля при роботі з вимірювальною лінією

Розглянемо метод дослідження якості речовин, де у якості мікрохвильового датчика використовується ДЯ „закритого” типу, а у якості мікрохвильового аналогового вимірювального пристрою вимірювальна лінія (ВЛ). На рис. 1 представлено аналого-цифрову інформаційну систему діагностики якості (ІСДЯ) речовин. Метод визначення ДП за допомогою ВЛ та ДЯ [3] полягає у використанні зв'язку між параметрами ДЯ з досліджуваною речовиною, робочою частотою генератора, коефіцієнтом стоячої хвилі за напругою (КСХН) та фазою коефіцієнта відбиття на вході ДЯ. За допомогою ВЛ визначається комплексний імпеданс на поверхні досліджуваної речовини у вимірювальному осередку, а потім за відповідними співвідношеннями [2, 3] визначається комплексна діелектрична проникність і тангенс кута діелектричних втрат ($\text{tg}\delta$).

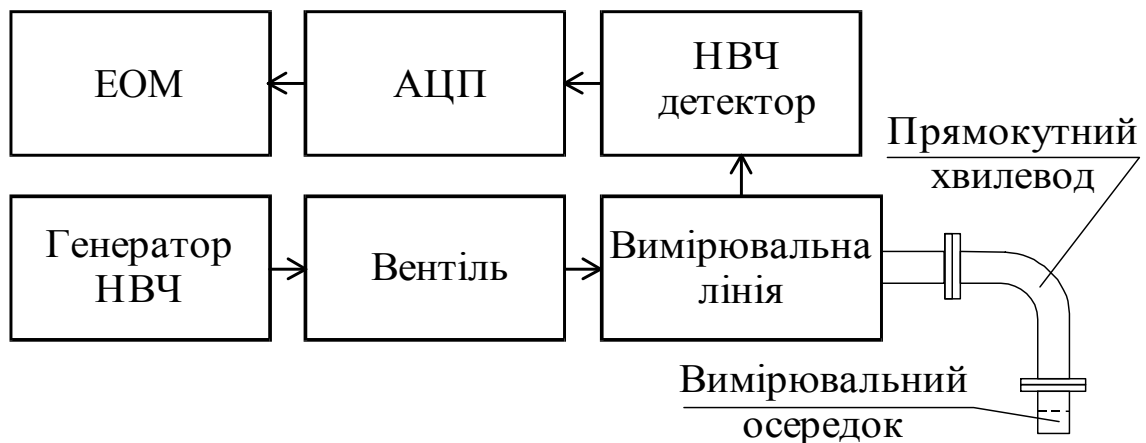


Рис. 1. Структурна схема ІСДЯ для визначення комплексної діелектричної проникності досліджуваного вугілля

У пристрої (рис. 1) використовуються прилади, що серійно випускаються за винятком ВО, розробленого і виготовленого окремо. Точність визначення ДП залежить від точності вимірювання КСХН (K_c) та фази коефіцієнта відбиття, які у свою чергу залежать від точності вимірювання параметрів кривої розподілу напруги вздовж ВЛ.

Але, при великих значеннях $K_c > 4$ [6] точність визначення K_c та відповідно ДП різко знижується у зв'язку зі значним зниженням точності визна-

чення відношення максимуму до мінімуму розподілу напруги вздовж ВЛ. Така ситуація неприпустима при точних визначеннях ДП різноманітних речовин та вугілля, які можуть мати довільні значення K_c .

Для підвищення точності визначення ДП пропонується визначати K_c шляхом вимірювання розподілу напруги тільки у районах його мінімальних значень $U_1, U_2 \dots U_i$ (рис. 2), не приймаючи до уваги максимальне значення напруги (U_{\max}), яке часто виходить за межі спроможності аналогового вимірювального приладу. У такому разі K_c пропонується визначати за формулою

$$K_c = \frac{2U_i}{U_o [\sin(kl_i) + 1]} + \frac{\sin(kl_i) - 1}{\sin(kl_i) + 1}, \quad (1)$$

де U_o – мінімальне значення напруги в розподілу хвилі вздовж ВЛ; U_i – довільне значення напруги в розподілу хвилі поблизу її мінімуму; $k = 2\pi / \lambda$ – хвильове число; λ – робоча довжина хвилі; kl_i – координата місцезнаходження вимірювальної головки ВЛ, яка відповідає виміряному значенню напруги U_i .

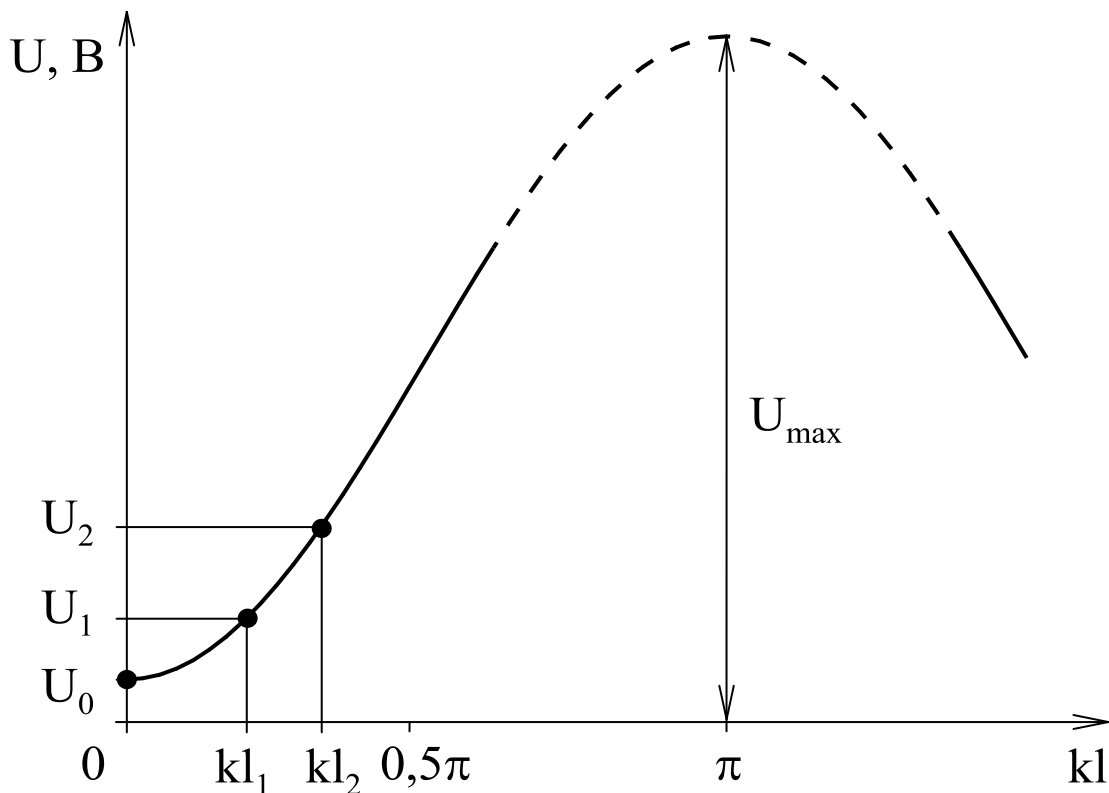


Рис.2. Розподіл напруги вздовж ВЛ

Очевидно, при виведенні формули (1) приймалися до уваги як фізичний смисл K_c , так і максимальне і мінімальне значення напруги при синусоїдальному законі розподілу хвилі вздовж ВЛ.

2 Результати експериментальних досліджень ДП вугілля за допомогою вимірювальної лінії

Результати досліджень метода підвищення точності позитивні і показали, що при $K_c > 4$ похибка вимірювань КСХН знижується з 10 – 15 % при традиційному визначенні K_c – до 3% при використанні нової технології за формулою (1). Це було показано порівнянням результатів вимірювань K_c за допомогою ВЛ з результатами вимірювань K_c того ж навантаження методом спрямованих відгалужувачів [3, 4].

На рис. 3 наведено одержані за допомогою пристрою (рис.1) на частоті 3,43 ГГц експериментальні графіки дійсної частини ДП ε' та $\text{tg}\delta$ з використанням формули (1) в залежності від калорійності Q_i^r для досліджуваних 11-ти проб вугілля марки ТК.

Подібні графіки (рис. 3) можуть бути використані для швидкого визначення невідомого значення калорійності вугілля Q_i^r .

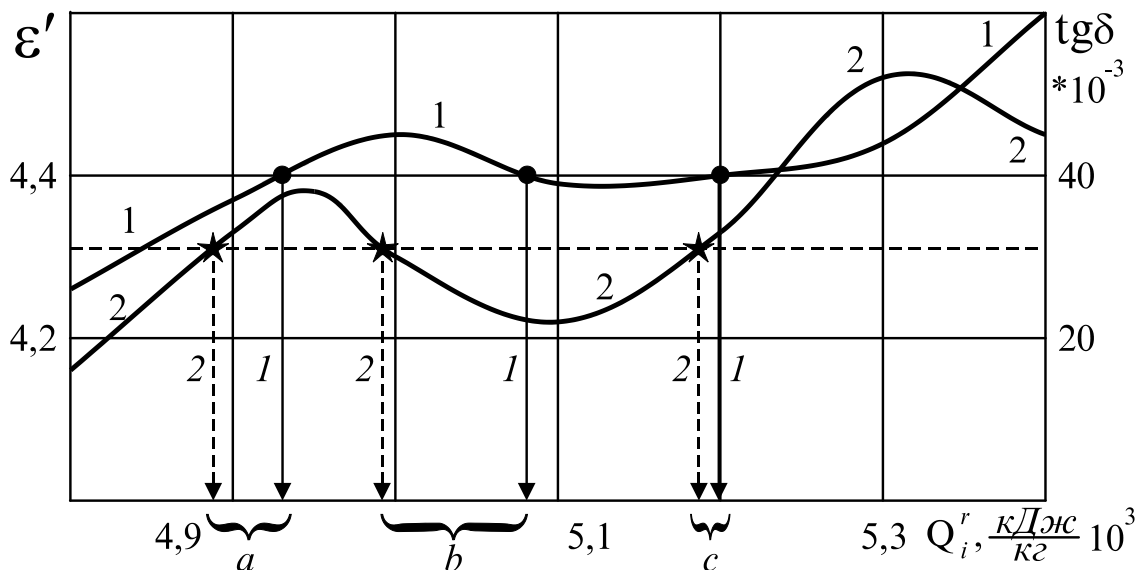


Рис.3. Експериментальні залежності ДП від калорійності вугілля Q_i^r : 1 – ε' ; 2 – $\text{tg}\delta$.

Для автоматизації процесу визначення калорійності вугілля Q_i^r подібні графіки вводяться у пам'ять ЕОМ та дискретизуються по горизонтальній та вертикальній висям. Далі запам'ятовується адекватність усіх дискретних значень калорійності Q_i^r дискретним значенням ε' і $\text{tg}\delta$.

Для визначення невідомого значення калорійності Q_i^r , яка відповідає вимірній парі критеріїв $\varepsilon'(Q)$, $tg\delta(Q)$, вирішується задача оптимізації параметрів ε' і $tg\delta$ [7] шляхом визначення мінімумів кожної з двох цільових функцій у вигляді

$$X_{\varepsilon'}(Q_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \{[\varepsilon'_{j,k} - \varepsilon'(Q)] / \varepsilon'(Q)\}^2, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (2)$$

$$X_{tg\delta}(Q_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \{[tg\delta_{j,k} - tg\delta(Q)] / tg\delta(Q)\}^2, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (3)$$

де Q_k – дискретні значення калорійності вугілля Q_i^r за горизонтальною віссю графіка, відповідно до кривих 1 та 2 рис. 3; N – загальна кількість дискретних значень ε' , $tg\delta$ за вертикальною віссю графіка (параметри оптимізації); K – загальна кількість дискретних значень Q_i^r ; $\varepsilon'(Q)$, $tg\delta(Q)$ – вимірні значення ε' та $tg\delta$ (критерії оптимізації), які відповідають конкретним значенням калорійності вугілля Q_i^r даної марки.

Після визначення мінімумів цільових функцій (2) та (3), комп'ютерна програма забезпечує знайдення низки значень калорійності $Q_{\varepsilon'_1}, Q_{\varepsilon'_2}, \dots, Q_{\varepsilon'_K}$ та $Q_{tg\delta_1}, Q_{tg\delta_2}, \dots, Q_{tg\delta_K}$, які відповідають цим мінімумам. Далі програма забезпечує порівняння значень калорійності, знайдених за формулою (2) з калорійністю, які знайдено за формулою (3) і знаходить пару значень калорійності, найближчих між собою, що і буде рішенням задачі Q_i^{*r} .

Розглянемо приклад коли вимірні значення ДП даного вугілля такі $\varepsilon' = 4,4$, а $tg\delta = 30 \cdot 10^{-3}$ (рис.3). Таким значенням ДП у даному випадку відповідають по три значення Q_i^r – найгірший випадок. Попарна різниця між ними на рис. 3 показана дужками “a”, “b”, та “c”. Найбільш збігаються між собою значення калорійності варіанту “c”. Тому середнє значення цих значень калорійності і буде рішенням задачі Q_i^{*r} .

Структурна схема алгоритму швидкого визначення на ЕОМ калорійності вугілля даної марки таким способом наведена на рис. 4.

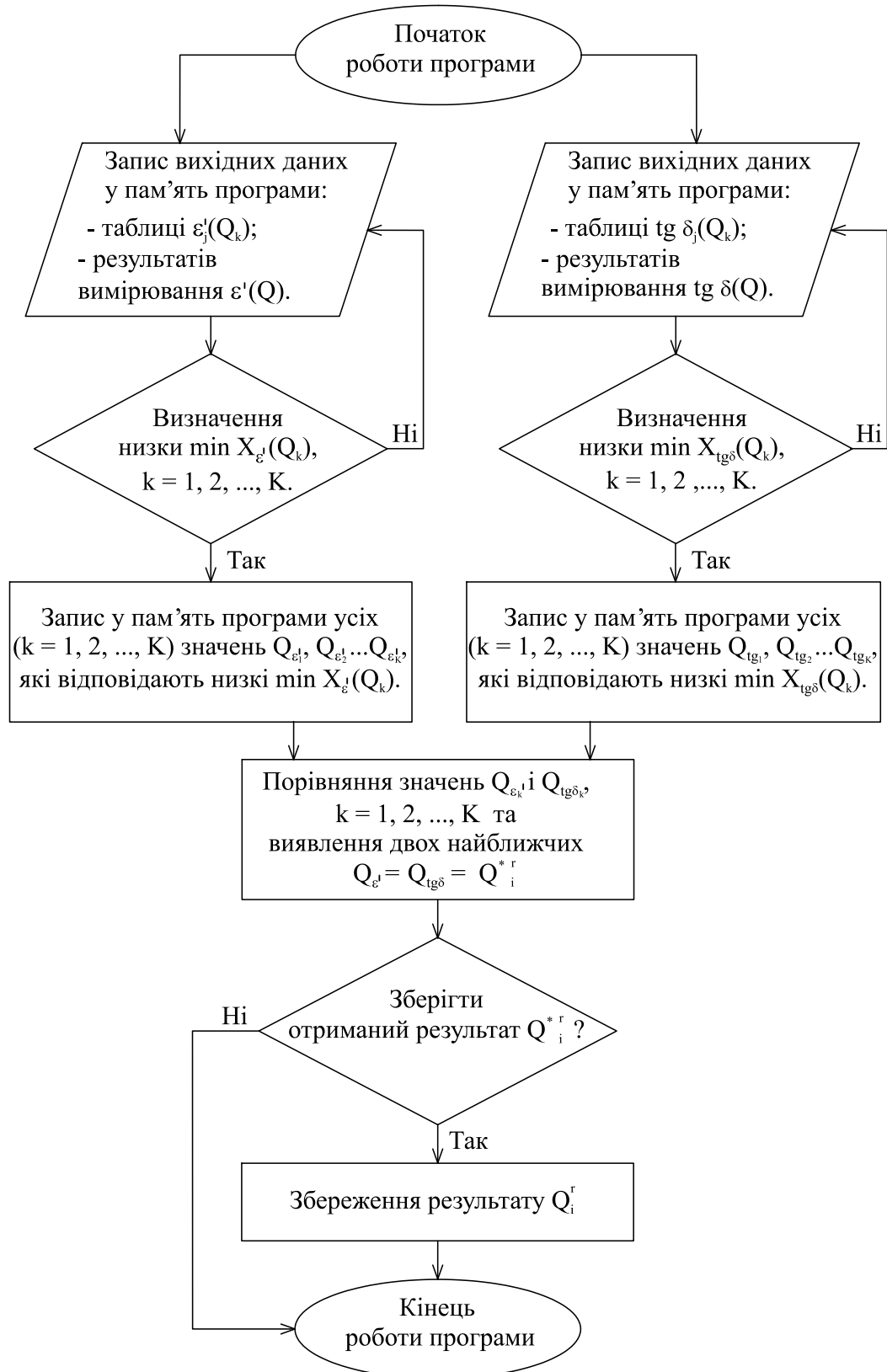


Рис. 4 Алгоритм визначення калорійності вугілля відповідно до виміряного значення ДП.

Висновки і рекомендації

У процесі експрес-контролю якості речовин доцільно для підвищення точності при визначенні КСХН і діелектричної проникності користуватися запропонованою в роботі новою технологією (розділ 1). Підвищення точності досягнуто завдяки тому, що виміряні значення U_0 та U_i є близькими між собою величинами, що є причиною зниження похибки вимірювань на відміну від методу [6].

Точне визначення КСХН та фази коефіцієнта відбиття є необхідною умовою для підвищення достовірності визначення якісних характеристик вугілля чи інших речовин при виміряних ε' та $\text{tg}\delta$ шляхом рішення на ЕОМ зворотної задачі визначення калорійності вугілля з використанням завчасно побудованих калібрувальних характеристик: калорійність вугілля – діелектрична проникність, відповідно до алгоритму (рис. 4, розділ 2).

Література

1. Надь Ш.Б. Диэлектрометрия / Ш. Б. Надь. Перев. с венг. под ред. Малова В.В. – М.: Энергия, 1976. – 200 с.
2. Харвей А. Ф. Техника сверхвысоких частот / А.Ф. Харвей. Пер. с англ. под ред. В.И.Сушкевича. Т.1.-М.:, 1965.– 783 с.
3. Брандт А. А. Исследование диэлектриков на СВЧ / А.А. Брандт. – М.: Физматизд, 1964. –404с.
4. Викторов В.А. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов / В.А. Викторов, Б.В. Лункин, А.С Совлуков.– М.: Энергоатомиздат, 1989, 208 с.
5. Ovsyanikov V.V. Measurements of the Complex Permittivity by the Waveguide and Resonant-Cavity Methods / V.V. Ovsyanikov // Proc. of the Int. Conf. on Actual Probl. Of Measuring Techn. Kyiv, Ukraine. -7-10 Sept. 1998. – P.224-225.
6. Фрадин А.З. Измерение параметров антенно-фидерных устройств / А.З. Фрадин., Е.В Рыжков.– М.: Связь, 1972 – 420 с.
- 7.Моисеев Н.Н. Методы оптимизации / Н.Н Моисеев., Ю.П. Иванилов, Е.М. Столярова– М.: Наука, 1978. – 352 с.

Овсяников Вол.В. Експрес-контроль якості вугілля радіометричним методом. Розглянуто методи підвищення точності та оперативності експрес-контролю якісних характеристик вугілля радіометричним методом. Підвищення точності контролю досягається шляхом використання нового методу визначення КСХН, а прискорення контролю – шляхом рішення на ЕОМ зворотної задачі визначення калорійності вугілля при вимірній діелектричній проникності з використанням завчасно побудованих калібрувальних залежностей: калорійність вугілля – діелектрична проникність.

Ключові слова: радіометричний метод експрес-контролю, діелектрична проникність, тангенс кута діелектричних втрат, калорійність вугілля, інформаційна система діагностики якості, оптимізація параметрів вугілля.

Овсяников Влад.В. Экспресс-контроль качества углей радиометрическим методом. Рассмотрены методы повышения точности и оперативности экспресс-контроля качественных характеристик угля радиометрическим методом. Повышение точности контроля достигается путем использования нового метода определения КСВН, а

ускорение контроля - путем решения на ЭВМ обратной задачи определения калорийности угля при измеренной диэлектрической проницаемости с использованием заранее созданных калибровочных зависимостей: калорийность угля - диэлектрическая проницаемость.

Ключевые слова: радиометрический метод экспресс-контроля, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, калорийность угля, информационная система диагностики качества, оптимизация параметров угля.

*Ovsjanikov Vol.V. **Quality tpress-control of coal radiometric method.** Methods for improving the accuracy and timeliness of rapid control of coal quality characteristics of the radiometric method. Improved accuracy of control is achieved by using a new method for determining the VSWR, and the acceleration of control - by computer solution of the inverse problem determining calorific value coal in dielectric measurements using pre-designed created dependencies: caloric value of coal - permittivity.*

Keywords: radiometric method of express-control, permittivity, loss tangent, calorific value of coal, the information system diagnostic quality, optimizing the parameters of coal.