

8. Бойко В. А. Способ ускоренного формирования теплоуравнивающей рубашки горной выработки глубокой шахты / Бойко В. А., Бойко А. В. // Збірник наукових праць національного гірничого університету. –Дніпропетровськ: 2009, №33, том 2, С. 113–125,

9. Бойко О. А. Исследование влияния теплоуравнивающей оболочки пород горного массива на величину притока тепла в горную выработку глубокой шахты Донбасса / Бойко О.А. Бойко В. А. // Науковий вісник національного гірничого університету. – Днепропетровск: 2011. №33, том 2, С. 98–106.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 28.03.2012*

УДК 681.5:621.317

© С.І. Випанасенко, В.В. Овсяников

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПАЛИВА ДЛЯ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Наведено результати прискореного, більш точного визначення калорійності вугілля для теплових електростанцій за даними вимірювання його комплексної діелектричної проникності. Калорійність вугілля визначається в результаті рішення на ЕОМ оберненої задачі перетворення заздалегідь складеного банку калібрувальних характеристик діелектричної проникності різного вугілля у відповідну їм калорійність невідомого вугілля.

Приведены результаты ускоренного, более точного определения калорийности угля для тепловых электростанций по данным измерения его комплексной диэлектрической проницаемости. Калорийность угля определяется в результате решения на ЭВМ обратной задачи преобразования заранее составленного банка калибровочных характеристик диэлектрической проницаемости разных углей в соответствующую им калорийность неизвестного угля.

The results of accelerated, more accurate determination of calorific value of coal of thermal power plants according to the measurement of its complex dielectric permittivity are presented. Calorific value of coal is determined by solving the inverse problem of computer transformations pre-drawn bank calibration characteristics of the complex dielectric permittivity of different coals in their corresponding calorific value of unknown coal.

Вступ. 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 декількох годин на одну пробу) та коштів на придбання необхідних хімічних реактивів. При тому, одночасно з традиційними методами контролю якості палив розвиваються спектроскопічні, радіаційні, теплові, електромагнітні (мікрохвильові) та інші. Ці методи використовуються для експрес-контролю речовин одночасно з традиційними методами та можуть їх доповнювати шляхом оперативної видачі результатів індикації якості. Таку експрес-інформацію можна одержувати за декілька хвилин.

Постановка задачі. Дана робота присвячена подальшому розвитку електромагнітних методів експрес-контролю якості вугілля та інших палив у напрямку підвищення точності та автоматизації визначення калорійності вугілля і пе-

редачі інформації у систему управління. Теперішнього часу показником енергетичної цінності палива прийнята нижча теплота згоряння у робочому стані, яка позначається як Q_i^r [3]. Для скорочення запису у даній статті будемо називати цей показник калорійністю.

1. Підвищення точності визначення діелектричної проникності вугілля при роботі з вимірювальною лінією. Розглянемо метод визначення якості вугілля (калорійності) шляхом визначення такого важливого його електромагнітного (ЕМ) параметра, як комплексна діелектрична проникність (КДП). Реалізація задачі визначення КДП і перетворення її у цифровий формат виконується за допомогою аналого-цифрової інформаційної системи контролю якості палива (СКЯП), структурну схему якої наведено на рис. 1. У цьому пристрої застосовується мікрохвильовий (МХ) датчик якості (ДЯ) з досліджуваною речовиною у вигляді відрізка прямокутного або круглого хвилеводу, який закорочено на кінці. У якості МХ вимірювального приладу застосовується вимірювальна лінія (ВЛ), за допомогою якої можна вимірювати КДП шляхом попереднього вимірювання комплексного імпедансу вугілля у ДЯ і деяких нескладних розрахунків [1]. КДП вугілля несе найбільше інформації про якість вугілля у порівнянні з такими модульними ЕМ характеристиками, як коефіцієнт відбиття та коефіцієнт згасання тощо. При визначенні калорійності вугілля шляхом вимірювання КДП використовується кореляційний зв'язок між фізичними параметрами якості вугілля (калорійністю, зольністю, вологістю тощо) та його ЕМ параметрами. При тому, щоб визначити КДП за допомогою ВЛ (рис. 1) необхідно перш за все визначити комплексний імпеданс проби вугілля, яка знаходиться у ДЯ, а потім за відомими співвідношеннями [1] знайти КДП і тангенс кута діелектричних втрат ($tg\delta$) вугілля.

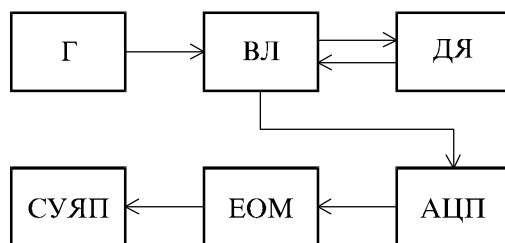


Рис. 1. Структурна схема пристрою для діагностики якості палив шляхом визначення КДП: Г – генератор надзвичайно високих частот; ВЛ – вимірювальна лінія; ДЯ – датчик якості, який заповнено досліджуваною речовиною (вугілля, мазут, тощо); АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ЕОМ – спеціалізований комп’ютер; СУЯП – система управління якістю палив

При визначенні комплексного імпедансу проби вугілля у ДЯ одним з ключових параметрів є коефіцієнт стоячої хвилі за напругою (КСХН). При цьому точність визначення КДП залежить від точності виміру КСХН, який залежить від точності визначення максимального й мінімального значень у розподілі напруги уздовж ВЛ ($КСХН = U_{\max} / U_{\min}$). При великих значеннях КСХН [4] погрішність визначення його і, отже, КДП значно зростає. Збільшення пог-

рішності неприпустимо при визначеннях *КДП* вугілля й інших палив, що може привести до значних матеріальних і економічних втрат при роботі ТЕС.

При визначенні *КСХН* звичайним методом ($КСХН = U_{\max}/U_{\min}$) максимальне значення напруги U_{\max} найчастіше виходить за верхню межу шкали вимірювального приладу або значно відрізняється по величині від мінімального значення U_{\min} . У першому випадку виміряти *КСХН* звичайним методом не представляється можливим, а в другому при вимірі U_{\min} допускається значна погрішність визначення *КСХН*, тому що U_{\min} знаходиться при мінімальних показаннях вимірювального приладу й погрішність його визначення набагато вище погрішності визначення U_{\max} .

Для підвищення точності визначення *КДП* при $КСХН > 4$ пропонується виміряти значення одного або декількох напруг U_1, U_2, \dots, U_M , уздовж ВЛ (рис. 2) у точках близьких до мінімального значення напруги U_{\min} й виміряти саме мінімальне значення напруги U_{\min} й визначити *КСХН* по формулі

$$КСХН_i = \frac{1}{\sin(kl_i)} \sqrt{\frac{U_i}{U_{\min}} - \cos^2(kl_i)}, \quad (1)$$

де: i – номери точок на графіку розподілу напруги вздовж ВЛ, у яких виконуються вимірювання, $i = 1, 2, \dots, M$; U_i – значення виміряних напруг поблизу мінімуму; $k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число; λ – робоча довжина хвилі; kl_i – координати місцезнаходження вимірювальної головки ВЛ, при яких виконуються вимірювання напруги U_i .

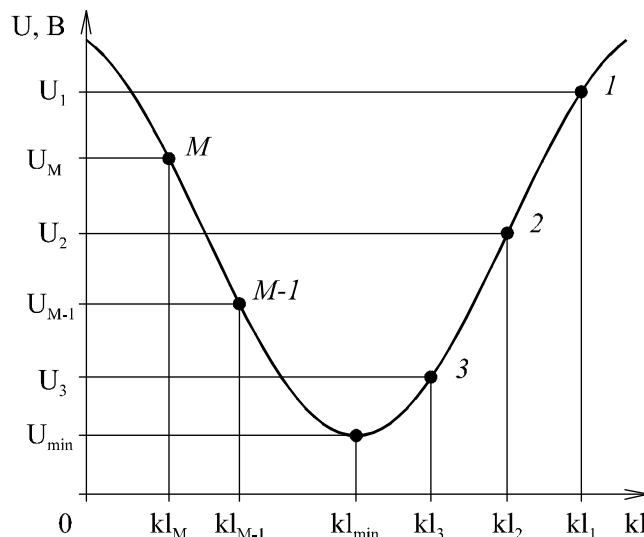


Рис. 2. Розподіл напруги вздовж ВЛ при високих значеннях *КСХН*

Після виконання 3-х – 5 вимірів напруги U_1, U_2, \dots, U_M у точках розташування каретки ВЛ kl_1, kl_2, \dots, kl_M обчислюються M значень $КСХН_i$ по формулі (1), після чого визначається середнє значення *КСХН* по формулі

$$КСХН_{cp} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M КСХН_i. \quad (2)$$

Точність визначення *КДП* залежить від точності вимірювання *КСХН* та фази коефіцієнта відбиття, які у свою чергу залежать від точності вимірювання оператором параметрів кривої розподілу напруги вздовж ВЛ. Враховуючи, що вимірювальна лінія являється найбільш точним приладом серед інших НВЧ приборів, похибка визначення *КСХН* при визначенні *КДП* проби вугілля із застосуванням виражень (1) і (2) може бути знижена.

2. Результати застосування методу уточненого вимірювання *КСХН* і *КДП* при визначенні калорійності вугілля за допомогою вимірювальної лінії. Розглянемо метод уточненого вимірювання *КСХН* і *КДП* з застосуванням виразів (1) и (2) при визначенні калорійності вугілля. Перш за все аналого-цифровий вимірювальний пристрій *КДП* вугілля (рис. 1) було відкаліброване за допомогою еталонних навантажувачів *КСХН*, а потім проведено низку вимірювань *КСХН* вугілля. Результати досліджень показали, що при *КСХН* > 4 похибка вимірювань *КСХН* знижується з 7 % при традиційному визначенні до 2% при використанні нової технології вимірювань і обробки результатів за формулами (1) і (2). Далі за допомогою аналого-цифрового пристрою (рис. 1) було проведено визначення *КДП* різних проб вугілля, а потім з урахуванням цих даних і знайдено калорійність невідомої проби.

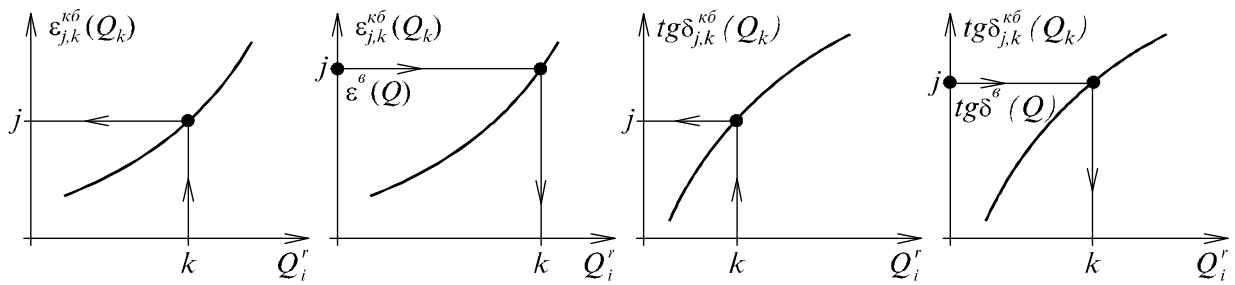
Методика вирішення даної задачі передбачає звичайні метрологічні принципи визначення фізичних величин методом співставлення результатів вимірювання параметра із заздалегідь отриманими каліброваними (еталонними) значеннями для даного параметра. При цьому процес визначення якості вугілля, калорійність якого невідома, виконується у два етапи.

На першому етапі вимірюється набір каліброваних ЕМ характеристик, наприклад, *КДП* для різних сортів вугілля, мазуту або інших видів палива на одній або декількох частотах мікрохвильового діапазону, тобто створюється банк каліброваних даних для певного різновиду цих речовин, які застосовувались на даному підприємстві або галузі промисловості. Ці калібровані характеристики являють собою таблицю дискретних значень відповідності ЕМ характеристик даних речовин параметрам якості палива, наприклад, калорійності. Отримані результати перетворюються в цифровий код і зберігаються в пам'яті ЕОМ установки (рис. 1) у вигляді банку еталонних даних.

На другому етапі, з використанням цього банку даних, шляхом автоматизованого порівняння каліброваних і виміряних ЕМ параметрів палива, наприклад *КДП*, із застосуванням програми на ЕОМ проводиться ідентифікація параметрів якості невідомого досліджуваного палива, наприклад, калорійності.

Як доведено вище у результаті виконання етапу 1 за допомогою даного пристрою діапазону НВЧ одержуються калібровані графіки (таблиці) дійсної ча-

стини $KДП(\varepsilon)$ та $tg\delta$, тобто $\varepsilon_{j,k}^{кб}(Q)$ і $tg\delta_{j,k}^{кб}(Q)$, в залежності від калорійності Q_i^r (рис. 3а та 4а). Підкреслимо, що відповідно до існуючих звичайних оцінок $KДП$, цей комплексний ЕМ параметр представляється як: $KДП = \varepsilon - i\varepsilon'$, при $tg\delta = \varepsilon' / \varepsilon$, де ε – дійсна частина $KДП$; ε' – уявна частина. На етапі 2 після вимірювання $\varepsilon^b(Q)$ та $tg\delta^b(Q)$ невідомої проби вугілля виконується зворотне перетворення цих параметрів $KДП$ у відповідну їм калорійність Q_i^r (рис. 3б та 4б).



а) Калібрівка б) Вимірювання а) Калібрівка б) Вимірювання

Рис. 3 Дійсна частина діелектричної проникності

Рис. 4 Тангенс кута діелектричних втрат

Для автоматизації процесу визначення калорійності вугілля Q_i^r подібні графіки на етапі 1 проходять процедуру дискретизації та перетворення у цифровий код по горизонтальній та вертикальній осі та вводяться у пам'ять ЕОМ для зберігання.

На етапі 2 для визначення невідомого значення калорійності Q_i^r , яка відповідає вимірній парі параметрів $\varepsilon^b(Q)$ та $tg\delta^b(Q)$, спочатку застосовується процедура оптимізації [5] вимірних та каліброваних $KДП$ вугілля шляхом мінімізації двох цільових функцій у вигляді

$$X_\varepsilon(Q_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left\{ \left[\varepsilon_{j,k}^{кб}(Q) - \varepsilon^b(Q) \right] / \varepsilon^b(Q) \right\}^2, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (3)$$

$$X_{tg\delta}(Q_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left\{ \left[tg\delta_{j,k}^{кб}(Q) - tg\delta^b(Q) \right] / tg\delta^b(Q) \right\}^2, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (4)$$

де j – номери відліків $j = 1, 2, \dots, N$ параметрів $\varepsilon_{j,k}^{кб}(Q)$, $tg\delta_{j,k}^{кб}(Q)$, а також параметрів $\varepsilon^b(Q)$ та $tg\delta^b(Q)$ за вертикальною віссю; k – номери відліків $k = 1, 2, \dots, K$ параметрів $Q_{\varepsilon_1}, Q_{\varepsilon_2}, \dots, Q_{\varepsilon_K}$ та $Q_{tg\delta_1}, Q_{tg\delta_2}, \dots, Q_{tg\delta_K}$ за горизонтальною віссю. Після визначення мінімумів цільових функцій (3) та (4), програма ЕОМ забезпечує знайдення низки значень калорійності $Q_{\varepsilon_1}, Q_{\varepsilon_2}, \dots,$

Q_{ε_K} та $Q_{tg\delta_1}$, $Q_{tg\delta_2}$, ..., $Q_{tg\delta_K}$, які відповідають цим мінімумам. Далі програма забезпечує порівняння значень калорійності, знайдених за формулою (3) з калорійностями, які знайдено за формулою (4) і знаходить пару значень Q_i^{*r} найближчих між собою або співпадаючої, що і буде рішенням задачі.

Розглянемо приклад застосування викладеної вище методики визначення калорійності вугілля за допомогою залежностей (рис. 5) на одній робочій частоті. Подібні графіки будемо вважати калібрувальними і вони можуть використовуватися для швидкого визначення невідомого значення калорійності вугілля Q_i^r в залежності від $KДП$, яка поступить на вхід програмного забезпечення ЕОМ. Припустимо, що виміряні значення $KДП$ даного вугілля такі: $\varepsilon^b = 4,4$, а $tg\delta^b = 30 \cdot 10^{-3}$. Таким значенням параметрів $\varepsilon^b(Q)$ та $tg\delta^b(Q)$ у даному випадку відповідають по три значення Q_i^r (неприємний випадок). Попарна різниця між ними на рис. 5 показана дужками «а», «b» та «с». Найбільш збігаються між собою значення калорійності варіанту «с». Тому шукане значення калорійності і буде рішенням задачі $Q_i^{*r} = 5,19 \cdot 10^3$ ккал/кг. Можна бачити з графіків на рис. 5, що така ситуація виникає коли залежності $\varepsilon_{j,k}^{kb}(Q)$ та $tg_{j,k}^{kb}(Q)$ від Q_i^r більш одного разу перетинають горизонтальну лінію сталого значення цих величин. Тому задача програми ЕОМ знайти таку пару значень калібрувальних залежностей $\varepsilon_{j,k}^{kb}(Q)$ та $tg_{j,k}^{kb}(Q)$, що знаходиться на одній вертикальній лінії, яка відповідає шуканому значенню калорійності вугілля Q_i^{*r} . Різниця між шуканими значеннями калорійності вугілля «с» виникає тому, що значення графіків рис. 5 зберігаються пам'яттю ЕОМ у дискретному вигляді і чим менше будуть інтервали при квантуванні цих аналогових параметрів за допомогою АЦП (рис. 1), тим менше буде різниця «с» і, очевидно, похибка визначення Q_i^{*r} .

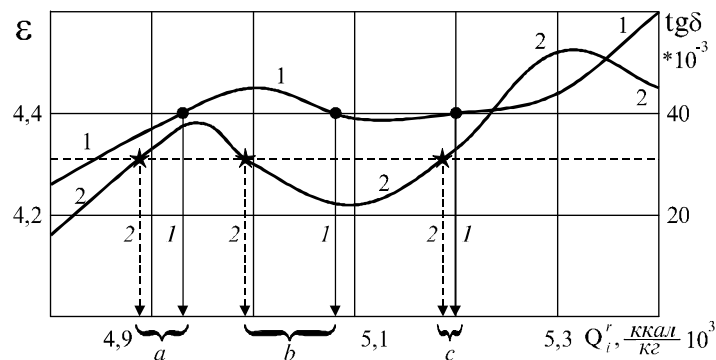


Рис. 5. Експериментальні калібрувальні залежності $KДП$ від калорійності вугілля Q_i^r : 1 – $\varepsilon_{j,k}^{kb}(Q)$; 2 – $tg_{j,k}^{kb}(Q)$

Структурна схема алгоритму визначення калорійності досліджуваного вугілля за допомогою ЕОМ викладеним вище способом наведена на рис. 6.

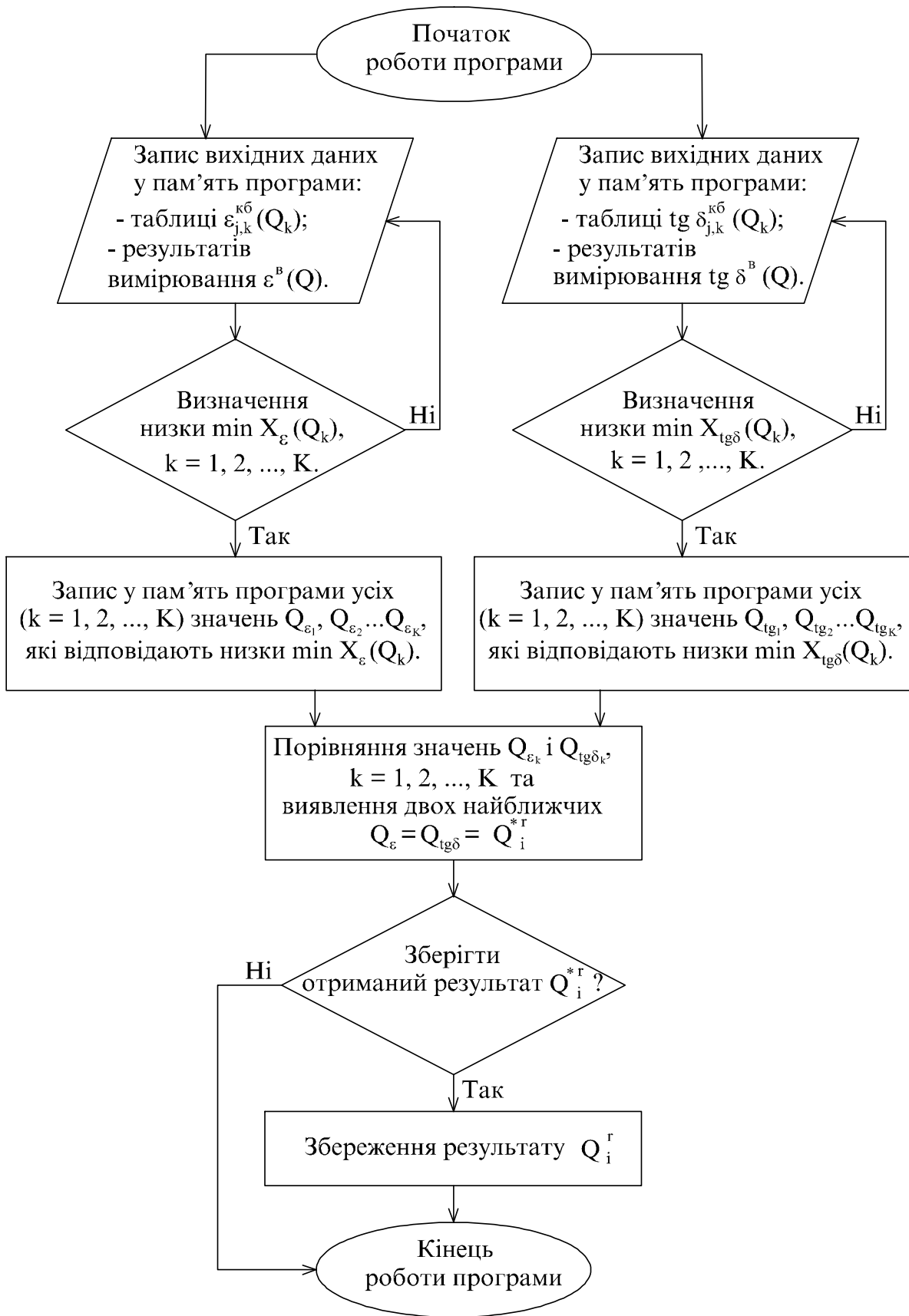


Рис. 6. Алгоритм визначення калорійності вугілля відповідно до виміряного значення *KDP*

Висновки

1. Для підвищення точності визначення $KСХН$, комплексної діелектричної проникності та у кінцевому рахунку калорійності вугілля у процесі експрес-контролю доцільно користуватися запропонованою в роботі технологією вимірювань. Підвищення точності досягнуто завдяки тому, що виміряні значення U_{\min} та U_i є величинами одного порядку і тому похибка вимірювань менше у порівнянні із звичайними традиційними методами.

2. Точне визначення $KСХН$ та $KДП$ є необхідною умовою для підвищення достовірності визначення калорійності вугілля при виміряних значеннях $\varepsilon^b(Q)$ та $tg\delta^b(Q)$ шляхом рішення на ЕОМ зворотної задачі визначення калорійності з використанням завчасно отриманих калібрувальних характеристик $\varepsilon_{j,k}^{kb}(Q)$ та $tg_{j,k}^{kb}(Q)$.

Список літератури

1. Брандт А.А. Исследование диэлектриков на СВЧ / А.А. Брандт. –М.: Физматгизд, 1964. – 404 с.
2. 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.
3. Белосельский Б.С. Контроль твердого топлива на электростанциях / Б.С. Белосельский, В.С. Вдовиченко.–М.: Энергоатомиздат, 1987.– 176 с.
4. Фрадин А.З. Измерение параметров антенно-фидерных устройств / А.З. Фрадин., Е.В Рыжков.–М.: Связь, 1972 – 420 с.
5. Моисеев Н.Н. Методы оптимизации / Н.Н Моисеев, Ю.П. Иванилов, Е.М. Столярова. –М.: Наука, 1978. – 352 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Заікою В.Т.
Надійшла до редакції 27.04.2012*

УДК 624.131.23

© В.Г. Кравець, Н.В. Зуєвська

ГЕОТЕРМІЧНИЙ РЕЖИМ НАГРІВАННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ВІД ТЕПЛОВИДІЛЯЮЧИХ ОБ'ЄКТІВ В МІСЬКОМУ БУДІВНИЦТВІ

Утворення теплових полів в масивах просадних ґрунтів під тепловиділяючими міськими об'єктами провокує нагрівання ґрунтових вод, їх посилену фільтрацію і відповідно небезпечні геологічні явища у вигляді нерівномірних деформацій основ фундаментів. В статті вивчаються зміни швидкості фільтрації нагрітої ґрунтової води в такому масиві і коефіцієнта її вертикальної фільтрації.

Образование тепловых полей в массивах просадочных ґрунтов под тепловыделяющими объектами городской инфраструктуры провоцирует нагревание ґрунтовых вод и соответственно опасные геологические явления в виде неравномерных деформаций оснований фундаментов. В статье изучаются изменения скорости фильтрации нагретой ґрунтовой воды в таком массиве и коэффициента ее вертикальной фильтрации.