

пункт”. Побудована модель дала змогу поставити основні режимні задачі роботи газосховища. Наведені кроки алгоритмів розв’язування поставлених задач апробовані на реальних даних.

1. Гладун С., П’янило Я., Притула М. *Нестационарна дифузія газу в пористих середовищах із зосередженими джерелами* // *Комп’ютерна інженерія та інформаційні технології*. – 2009. – № 650. – С.195–199. 2. Лапук Б.Б. *Теоретические основы разработки месторождений природных газов*. – Москва-Ижевск: *Институт компьютерных исследований*, 2002. – 296 с. 3. П’янило Я.Д., Притула М.Г. *Дослідження впливу параметрів пласту та привибійної області свердловини на розрахунок дебіту свердловини* // *Комп’ютерна інженерія та інформаційні технології*. – 2002. – №392. – С.45–49. 4. Тетерев И.Г., Шешуков Н.Л., Нанивский Е.М. *Управление процессами добычи газа*. – М.: *Недра*, 1981. – 248 с.

УДК 621.317

Р. Івах

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЄМНІСНОГО ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ВНУТРІШНІМ ЕЛЕКТРОДОМ СКЛАДНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

© Івах Р., 2010

Розглянуто математичну модель ємнісного первинного перетворювача з внутрішнім електродом складної конструкції. Отримані аналітичні залежності дають змогу розрахувати ємність та провідність ємнісного первинного перетворювача із заданою формою внутрішнього.

The mathematical model of capacity primary transformer is considered with the internal electrode of elaborate design. Got analytical dependences allow to expect capacity and conductivity of capacity primary transformer with the set form of internal.

Вступ

Первинний перетворювач є першим елементом у колі вимірювального перетворення, від точності, чутливості, швидкодії, стійкості до зовнішніх впливів, стабільності якого вирішально залежить повнота та достовірність отримуваної інформації про стан досліджуваних об’єктів і процесів.

Серед первинних перетворювачів електричних властивостей досліджуваних середовищ дуже важливими є ємнісні первинні перетворювачі діелектричної проникності, які широко застосовуються для вимірювань під час [1]:

- виробництва електротехнічних матеріалів;
- виробництва будівельних матеріалів та сумішей;
- вирощування, зберігання та перероблення сільськогосподарської продукції;
- контролю та аналізу різного роду речовин (нафти, мастил, олій тощо).

За результатами аналізу літературних джерел [2–6] встановлено, що дослідження останніх років переважно були спрямовані на вдосконалення електричних схем вимірювання, тоді як до питання конструктивного рішення ємнісних первинних перетворювачів (ЄПП) та врахування

особливостей досліджуваного середовища, яке знаходиться у міжелектродному просторі перетворювача, не приділено належної уваги. Адже під час застосування ЄПП діелектричної проникності сипких матеріалів виникає низка труднощів, пов'язаних з:

- неоднорідною та дискретною структурою сипкого матеріалу, який знаходиться у вимірювальній камері ЄПП;
- неточністю заповнення висоти вимірювальної камери ЄПП сипким матеріалом;
- впливом температури та інших неінформативних факторів на результат вимірювання.

Методика досліджень

Основною вимогою, яка висувається до ємнісних первинних перетворювачів діелектричних параметрів сипких матеріалів, є мінімальне значення відносної сумарної похибки вимірювання ємності під час дослідження діелектричних параметрів сипкого середовища, тобто

$$d_C = \frac{\Delta_{C_x}}{C_x} \rightarrow \min. \quad (1)$$

У [7] детально розглянута розгорнута модель відносної похибки визначення ємності

$$d_C = \frac{\Delta_{C_x}}{C_x} = \frac{K \cdot \left[F(y)d_H \cdot H - (d_R - d_r) \cdot \int_0^H F^2(y)dy \right] + C_x \cdot d_e + \frac{S_1}{\sqrt{n}}}{K \cdot \int_0^H F(y)dy} + \frac{K \cdot F(y) \cdot H \cdot d_h + \left[dD_C + (c - d) \cdot K \cdot \int_0^H F(y)dy \right]}{100\% \cdot K \cdot \int_0^H F(y)dy} + \Delta_{ЛЗ} + \Delta_{завади}. \quad (2)$$

З виразу (2) бачимо, що на значення відносної похибки істотно впливає параметр $F(y)$, який залежить від форми внутрішнього електрода [7]. З одного боку, певні складові зменшуються у разі наближення внутрішнього електрода до зовнішнього ($r(y) \rightarrow R$ чи $F(y) \rightarrow R$), а з іншого боку, за цієї умови деякі складові збільшуються.

Отже, постає задача розроблення такої форми внутрішнього електрода ЄПП, за якої характеристики похибки вимірювальної ємності досягають мінімального значення для всіх інших однакових заданих параметрах (зовнішньому радіусі R , висоті H зовнішнього електрода та відносній початковій відстані між внутрішнім і зовнішнім електродами $d_v = \frac{R - r_0}{r_0}$).

Оскільки класичним є вимірювальний перетворювач із циліндричним внутрішнім електродом, варто мати математичну модель ЄПП з формою внутрішнього електрода, яка відхиляється в один чи інший бік від циліндричної, тобто:

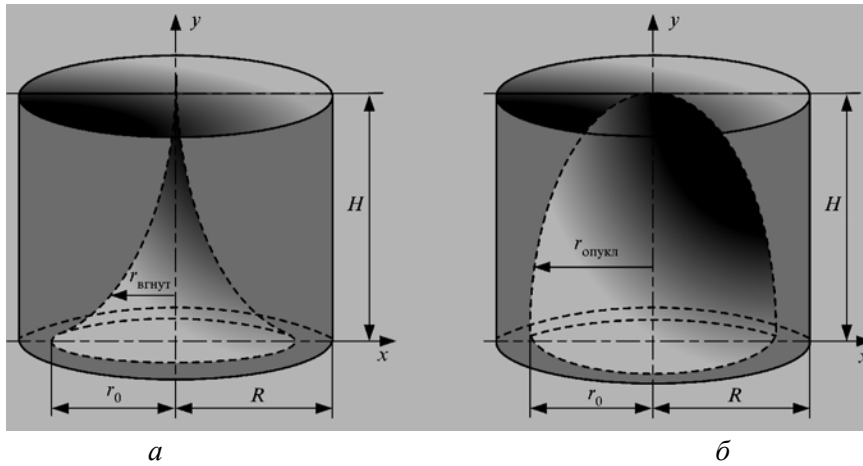
- ЄПП з внутрішнім електродом вгнутої форми (рисунок, а);
- ЄПП з внутрішнім електродом опуклої форми (рисунок, б);

Методику розрахунку ємності та провідності ЄПП з довільною формою внутрішнього електрода розглянуто у [8].

З [8], для порядку кривизни n значення поточного радіуса внутрішнього електрода вгнутої форми можна визначити за формулою:

$$r_{вг}(y) = r_0 \left(1 - n \sqrt{\frac{y}{H}} \right), \quad 0 \leq y < H, \quad (3)$$

де r_0 – радіус основи внутрішнього електрода.



Конструкції ЄПП із внутрішнім електродом:
а – вгнутої форми; б – опуклої форми

Відповідно для порядку кривизни n значення поточного радіуса внутрішнього електрода опуклої форми можна обчислити за формулою:

$$r_{\text{оп}}(y) = r_0 \left(\sqrt[n]{1 - \frac{y}{H}} \right), \quad 0 < y \leq H. \quad (4)$$

У формулах (3) та (4) n – показник форми, який визначає відповідно ступінь вгнутості або опуклості внутрішнього електрода.

Для подальшого аналізу використаємо заміни $z = y/H$ (звідси висота ЄПП $0 < z \leq 1$) та позначимо мінімальну відстань між електродами через $d = R - r_0$, тоді відносна початкова відстань між круговими внутрішнім та зовнішнім електродами (d_v):

$$d_v = \frac{d}{r_0}, \quad 0 < d_v < 1. \quad (5)$$

Загальна модель ємності первинного перетворювача для довільної форми внутрішнього електрода $r(y)$, який змінюється з висотою y , визначається так [8]:

$$C_{\text{ПП}} = \int_0^H 2\pi e_0 e_{\text{см}} \frac{dy}{\ln(R/r(y))} = 2\pi e_0 e_{\text{см}} \int_0^H \frac{dy}{\ln(R/r(y))}, \quad (6)$$

де e_0 – діелектрична стала, яка дорівнює $8,854188 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; $e_{\text{см}}$ – діелектрична проникність сипкого матеріалу, що знаходиться у міжелектродному просторі; R – радіус зовнішнього електрода; $r(y)$ – радіус внутрішнього електрода, який визначається з (3) або (4).

У реальних конструкціях ЄПП для забезпечення механічної міцності та зменшення відносного переміщення електроди фіксуються за допомогою прокладок, шайб і т. д. Наявність таких конструктивних елементів, а також виводів провідників для під'єднання перетворювача до вимірювальної схеми призводить до того, що перетворювач має так звані конструктивні складові ємності C_0 та провідності G_0 . Методика експериментального визначення конструктивних складових ємності та провідності детально описана в літературі [9, 10].

Враховуючи вирази (3) – (6), математична модель ЄПП з внутрішнім електродом складної конструкції матиме такий вигляд:

$$C_{\text{ПП}} = 2\pi e_0 e_{\text{см}} H \cdot \mathcal{U}_{\text{ПП}}(d_v, n) + C_{0,\text{ПП}} = C_{x0} \cdot \mathcal{U}_{\text{ПП}}(d_v, n) + C_{0,\text{ПП}}, \quad (7)$$

де $C_{x0} = 2\pi e_0 e_{\text{см}} H$ — базова ємність конденсатора із круговими електродами; $\mathcal{U}_{\text{ПП}}(d_v, n)$ – функція ЄПП, що залежить від відносної відстані між електродами d_v та показника форми n ; $C_{0,\text{ПП}}$ — конструктивна складова ємності первинного перетворювача.

Вирази функції $\mathcal{U}_{\text{ПП}}(d_v, n)$, які описують вплив форми внутрішнього електрода на значення ємності ЄПП, систематизовані у таблиці.

Вирази функцій, що описують вплив форми внутрішнього електрода на ємність

Форма внутрішнього електрода	Функція
циліндрична	$Y_{\text{ц}}(d_v) = \frac{1}{\ln(1+d_v)}$
конусна	$Y_{\text{кон}}(d_v) = \int_0^1 \frac{dz}{\ln\left(\frac{1+d_v}{1-z}\right)}$
вгнута	$Y_{\text{вг}}(d_v, n) = \int_0^1 \frac{dz}{\ln\left(\frac{1+d_v}{1-\sqrt[n]{z}}\right)}$
опукла	$Y_{\text{опукл}}(d_v, n) = \int_0^1 \frac{dz}{\ln\left(\frac{1+d_v}{\sqrt[n]{1-z}}\right)}$

Висновок

З отриманої математичної моделі видно, що для різних форм внутрішнього електрода існує відповідне значення функції $\Psi_{\text{ПП}}(d_v, n)$, яка залежить лише від відносної відстані між електродами d_v та показника степеня n (див. табл. 1).

Запропоновану математичну модель ЄПП з внутрішнім електродом складної конструкції можна використати для дослідження ємнісних первинних перетворювачів.

1. Форейт Й. Емкостные датчики неэлектрических величин / Й. Форейт ; [пер. с чешского В. И. Дмитриева]. – М.–Л.: Энергия, 1966. 2. Буняк О. А. Системи контролю кінематики процесів седиментації та дифузії магнітооброблених суспензій цукрового виробництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.11.13 “Прилади і методи контролю та визначення складу речовин” / О. А. Буняк. – Львів, 2002. – 19 с. 3. Шапіро М. В. Прилади і методи виміру вологості зерна та продуктів його переробки : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.11.13 “Прилади і методи контролю та визначення складу речовин” / М. В. Шапіро. – Харків, 2002. – 18 с. 4. Половинка Д. В. Двочастотний прилад контролю вологості сипких сільськогосподарських культур : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.11.13 “Прилади і методи контролю та визначення складу речовин” / Д. В. Половинка. – Харків, 2005. – 18 с. 5. Дж. Фрайден. Современные датчики : Справочник / Дж. Фрайден ; [пер. з англ. Ю. А. Заболотной під ред. Е. Л. Свинцова]. – Москва: Техносфера, 2006. – 589 с. 6. Цюцюра С. В. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. зал.] – [3-те вид., стер.] / С. В. Цюцюра, В. Д. Цюцюра. – К.: Знання, 2006. – 242 с. 7. Івах Р. М., Питель І. Д. Математична модель похибки вимірювання параметрів діелектричного сипкого середовища ємнісними первинними перетворювачами / Комп’ютерні науки та інформаційні технології. – 2009. – № 350. – С. 104–108. 8. Івах Р. М. Методика розрахунку циліндричного ємнісного первинного перетворювача із внутрішнім електродом складної конструкції // Вимірювальна техніка і метрологія. – 2006. – С. 125 – 131. 9. Полищук Е. С. Измерительные преобразователи / Е. С. Полищук. – К.: Вища шк., 1981. – 296 с. 10. Кричевский Е. С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов / Е. С. Кричевский, А. Г. Волченко, С. С. Галушкин. – М.: Энергоатомиздат, 1987.