

УДК 621.317

## КОРИГУВАННЯ ПОХИБОК, ЗУМОВЛЕНИХ НЕСТАБІЛЬНІСТЮ БІОХІМІЧНОГО СКЛАДУ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ ПІД ЧАС ВИМІРЮВАННЯ ЙОГО ВОЛОГОСТІ

Р. М. Івах<sup>1</sup>, М. Я. Івах<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79000, Україна

<sup>2</sup>ТзОВ СП «РосанПак», вул. Львівська бічна, 3, с. Сокільники,  
Пустомитівський район, 81130, Україна,

*Встановлено, що під час вимірювання діелектричної проникності сипкого матеріалу (СМ) на результат вимірювання, окрім інструментальних похибок, впливають інші чинники, зокрема, температура СМ, а також неінформативні складові, які зумовлені неоднозначністю залежності діелектричної проникності від вимірюваної величини.*

*Завдяки застосуванню запропонованого методу неповного заміщення складова похибки від впливу біохімічного складу та інших неінформативних параметрів, що зумовлює неоднозначну залежність діелектричної проникності від досліджуваного параметру може бути зменшена у кілька десятків разів до рівня кілька сотих відсотка при неоднозначності діелектричної проникності у (1 – 2) % і до рівня кількох десятих відсотка при неоднозначності у (3 – 5) %.*

**Ключові слова:** вимірювання вологості, дієлькометрія, ємнісні первинні перетворювачі, нестабільність біохімічного складу

Постановка проблеми. Вимірювання вологості сипких матеріалів (СМ) та проектування вологомірів є актуальною задачею для України, оскільки одним із стратегічних напрямів економіки є виробництво зерна та продуктів його переробки. Точний контроль вмісту води у зерні сприяє зниженню витрат, пов'язаних із сушінням та зберіганням. Можливість точного визначення вологості зерна у потрібний момент, а особливо під час збирання врожаю – є тим фактором, що відокремлює прибуток від збитків.

Прямі методи вимірювання вологості зернових культур більше придатні для використання у приладах лабораторного застосування, оскільки вони вимагають значних затрат часу та спеціального лабораторного устаткування.

Серед непрямих методів вимірювання вологості СМ одним із найперспективніших є ємнісний (дієлькометричний) метод вимірювання, оскільки реалізація цього методу дає можливість отримати високу швидкість та точність вимірювального перетворення вихідного сигналу перетворювача, автоматизувати процес вимірювання та обробки інформації [1].

Як відомо [2,3] під час вимірювання вологості СМ на діелектричні властивості СМ впливає багато факторів, таких як температура, гранулометричний склад

(форма, розміри тощо), структура зерен, хімічний склад тощо. На відміну від температури контролювати біохімічний склад СМ під час вимірювання надзвичайно складно і тому коригувати похибки, спричинені неоднозначністю біохімічного складу, звичайними методами практично не можливо.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження останніх років, в основному, були спрямовані на вдосконалення електричних схем вимірювання діелектричної проникності сипких матеріалів, в той час, як до питання врахування особливостей досліджуваного середовища, яке знаходиться у міжелектродному просторі перетворювача, не приділено належної уваги.

Проблеми вимірювання діелектричної проникності сипких матеріалів, зокрема зерна, залишаються не вирішеними повною мірою. Зокрема, неоднорідність складу та структури СМ, обумовлюють неоднорідності внутрішнього електричного поля, на яке впливають електричні параметри як самої гранули, так і наявність повітря між гранулами. Окрім того, суттєвий вплив на результат вимірювання діелектричної проникності сипкого матеріалу мають температура середовища, нестабільність його біохімічного складу та інші неінформативні параметри.

Метою статті є визначення та аналіз методу вимірювання діелектричної проникності сипких матеріалів, який би дав змогу істотно зменшити вплив неконтрольованих неінформативних параметрів, а також оцінка ефективності запропонованого методу

Виклад основного матеріалу дослідження. Загалом діелектрична проникність  $\epsilon_x$  зерна залежить від вологості  $W_x$ , а також його біохімічного складу та інших неінформативних параметрів і у першому наближенні може бути описана математичною моделлю:

$$\epsilon_x = K_w \cdot W_x + \epsilon_{n.i.}(p), \quad (1)$$

де  $K_w$  – коефіцієнт пропорційності;  $\epsilon_{n.i.}(p)$  – складова діелектричної проникності зумовлена біохімічним складом та іншими неінформативними параметрами.

Використовуючи ємнісний вимірюваний перетворювач з коефіцієнтом перетворення  $K_{ВП}$ , вираз (1) можна записати у формі ємностей:

$$C_x = K_{ВП} \cdot \epsilon_x = K_{ВП} \cdot K_w \cdot W_x + K_{ВП} \cdot \epsilon_{n.i.}(p) = K_{П} \cdot W_x + C_{n.i.}(p), \quad (2)$$

де  $K_{П} = K_{ВП} \cdot K_w$  – коефіцієнт перетворення;  $C_{n.i.}(p)$  – складова ємності, зумовлена впливом неінформативних параметрів.

Очевидно, що навіть якщо  $K_{П}$  відомо достатньо точно, то завдяки неконтрольованій складовій від неінформативних параметрів  $C_{n.i.}(p)$  точність вимірювання може бути вкрай низькою. Зокрема, для зернових культур розкид значень ємності від неінформативних параметрів може становити кілька відсотків і навіть більше [3, 4].

Окрім того, навіть якщо би якимось чином вдалося оцінити складову  $C_{n.i.}(p)$ , то точність вимірювання є обмеженою внаслідок неоднозначності са-

мого коефіцієнта  $K_w$  у (1), що спричиняє мультиплікативну похибку результату вимірювання.

У такому разі треба застосувати метод вимірювання, який би дав змогу істотно зменшити вплив неконтрольованих неінформативних параметрів.

Використання методу неповного заміщення під час вимірювання вологості сипких матеріалів. Взагалі кажучи, найкращим методом вимірювань у цьому випадку був би метод заміщення, використовуючи зразковий об'єкт (міру) із такими самими неінформативними параметрами, як досліджуваний об'єкт.

Очевидно, що використовувати в якості міри субстанцію іншої фізичної природи (наприклад, гранули епоксидної смоли) ніж фізична природа досліджуваного об'єкту (зерна), тобто з іншими неінформативними параметрами, не може дати позитивного результату.

Якщо ж як міру використовувати фізичну субстанцію такого ж роду як і об'єкт, то слід очікувати значно меншу розбіжність між структурою та фізичними процесами, які відбуваються в обох середовищах.

Однак створення регульованої міри вологості зерна із заданими значеннями неінформативних параметрів є задачею проблематичною. Для вирішення цієї задачі нами запропоновано застосовувати метод неповного заміщення, як певний компроміс між застосуванням нерегульованої міри і можливість часткової корекції впливу неінформативних параметрів (одночасно адитивної і мультиплікативної складових).

Розглянемо детальніше запропонований нами метод. Вираз (2) можна записати у функції шуканої величини (вологості) наступним чином:

$$C_x = K_{\Pi} \left( W_x + \frac{C_{н.і.}(p)}{K_{\Pi}} \right) = K_{\Pi} (W_x + W_{н.і.}(p)) \quad (3)$$

де  $W_{н.і.}(p)$  – еквівалентна вологість, що зумовлена впливом неінформативних параметрів, зокрема біохімічного складу. Загалом під час вимірювань вона невідома і може змінюватися від зразка до зразка досліджуваного середовища.

Тут досліджуємо лише методичні аспекти вимірювання, без урахування інструментальних похибок засобів вимірювання, які були проаналізовані раніше.

Отже, показ засобу вимірювання (вимірювача ємності) описується виразом (3). Для коригування складової  $W_{н.і.}(p)$  та похибки коефіцієнта  $K_{\Pi}$ , як міру в даному випадку доцільно використати пробу зерна, яка взята з цього самого поля, дійсне значення вологості міри  $W_{мд}$  якої визначаємо класичним, тобто досить точним, методом сушки (термогравіметричним) з похибкою  $\delta_m$ . Така проба зерна з відомим значення вологості ( $W_{мд}$ ) герметизується в спеціальній посудині і маркується, вказуючи значення вологості та поле, з якого ця проба взята. Аналогічним способом заготовляємо кілька таких однозначних нерегульованих мір вологості зерна з різних полів.

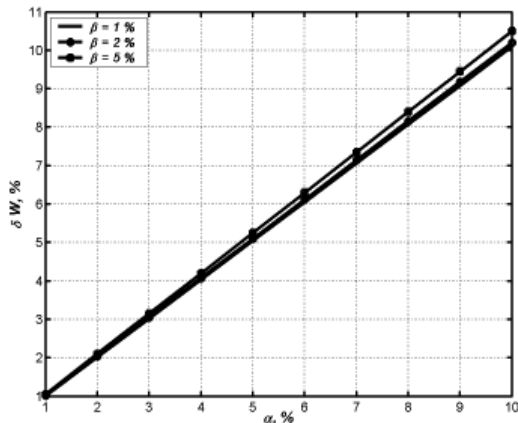


Рис. 1. Залежність відносної похибки вимірювання вологості  $\delta W$  від впливу неінформативних параметрів без коригування

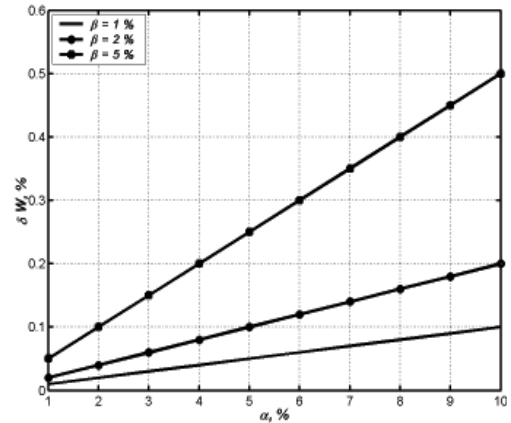


Рис. 2. Залежність відносної похибки вимірювання вологості  $\delta W$  від впливу неінформативних параметрів з коригування

Для корекції методичних похибок у другому вимірюванні під'єднуємо міру (пробу зерна з відомою вологістю) і отримуємо показ

$$C_{\text{пм}} = K_{\text{п}} (W_{\text{мд}} + W_{\text{н.і.зр}}(p)), \quad (4)$$

де  $W_{\text{н.і.зр}}(p)$  – неінформативна складова вологості міри.

Оскільки вимірювана та зразкова (міра) проби зерна однотипні, то їх неінформативні складові містять сталу (однакову) неінформативну складову досліджуваної проби і міри  $W_{\text{н.і.0}}(p)$  та змінні від зразка до зразка неінформативні складові  $\Delta W_{\text{н.і.зр}}(p)$ ,  $\Delta W_{\text{н.і.х}}(p)$ , тобто

$$\begin{cases} W_{\text{н.і.зр}}(p) = W_{\text{н.і.0}}(p) + \Delta W_{\text{н.і.зр}}(p); \\ W_{\text{н.і.х}}(p) = W_{\text{н.і.0}}(p) + \Delta W_{\text{н.і.х}}(p); \end{cases} \quad (5)$$

З (3) і (4) з врахуванням (5) можна записати:

$$\begin{cases} W_{\text{х}} = \frac{C_{\text{пх}}}{K_{\text{п}}} - W_{\text{н.і.0}}(p) - \Delta W_{\text{н.і.зр}}(p) \\ W_{\text{м}} = \frac{C_{\text{пм}}}{K_{\text{п}}} - W_{\text{н.і.0}}(p) - \Delta W_{\text{н.і.х}}(p) \end{cases} \quad (6)$$

З (6) отримаємо залежність скоригованого результату вимірювання вологості запропонованим методом

$$W_{\text{х}} = W_{\text{мд}} + \frac{C_{\text{пх}} - C_{\text{пм}}}{K_{\text{п}}} - (\Delta W_{\text{н.і.х}}(p) - \Delta W_{\text{н.і.зр}}(p)) \quad (7)$$

Отже, скоригований результат містить нескоригований залишок, який пропорційний до різниці неінформативних складових вологості міри та досліджуваної проби.

Оцінювання ефективності використання методу неповного заміщення. Проведемо оцінювання ефективності запропонованого методу. Нехай неінформативна складова вологості становить  $\alpha$  % від вимірюваної, тобто

$W_{н.і.0}(p) = \alpha \times W_x$ , а розкид значень неінформативних складових становить  $\beta$  від  $W_{н.і.0}(p)$ , тобто

$$\Delta W_{н.і.}(p) = \beta \times W_{н.і.0}(p) = \alpha \times \beta \times W_x. \quad (8)$$

Тоді з (6) вираз для відносної похибки вимірювання вологості без коригування буде мати вигляд:

$$\delta W = \pm (\alpha (1 + \beta)) \times 100 \%, \quad (9)$$

а вираз для відносної похибки вимірювання вологості з коригування, відповідно до (7), буде мати вигляд:

$$\delta W_k = \pm \alpha \beta \times 100 \%, \quad (10)$$

Графічно вирази (9) та (10) для різних значеннях  $\beta$  подані на рис. 1 та 2 відповідно.

Ефективність запропонованого методу знайдемо як відношення максимального значення відносної похибки до і після коригування:

$$E_{кор} = \frac{\delta W}{\delta W_k} = \frac{\alpha(1 + \beta)}{\alpha\beta} = 1 + \frac{1}{\beta} \quad (11)$$

Як бачимо з (11) ефективність коригування однозначно (обернено пропорційно) залежить від розкиду можливих значень неінформативних параметрів  $\beta$  (рис. 3)

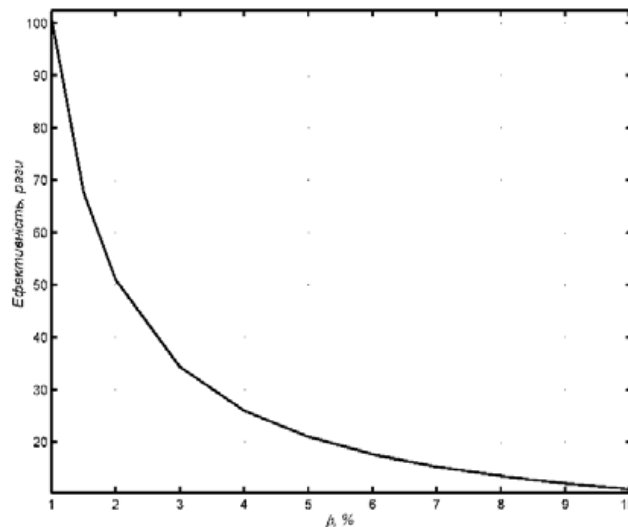


Рис. 3. Ефективність коригування похибки від неінформативних параметрів

Аналізуючи графічні залежності рис. 1 та 2, можна побачити ефективність використання методу неповного заміщення. Не використовуючи міру (див. рис. 3), відносна похибка вимірювання вологості  $\delta W$  від впливу неінформативних чинників становить одиниці відсотка (1 – 10 %), а при використанні міри – десяті частки відсотка (0,05 – 0,5 %) (див. рис. 2).

З рис. 3 випливає, що при невеликій неоднозначності відносного впливу неінформативних параметрів ( $\beta = 2 - 5 \%$ ) ефективність корекції є досить високою (50 – 20 разів).

Висновки. Під час вимірювання діелектричної проникності СМ на результат вимірювання, окрім інструментальних похибок, впливають інші чинники, зокрема, неінформативні складові, які зумовлені неоднозначністю залежності діелектричної проникності від вимірюваної величини.

Завдяки застосуванню запропонованого методу неповного заміщення складова похибки від впливу біохімічного складу та інших неінформативних параметрів, що зумовлює неоднозначну залежність діелектричної проникності від досліджуваного параметру може бути зменшена у кілька десятків разів до рівня кілька сотих відсотка при неоднозначності діелектричної проникності у (1 – 2) % і до рівня кількох десятих відсотка при неоднозначності у (3 – 5) %.

Запропоновані у роботі теоретичні підходи та способи практичної їх реалізації дозволяють підвищити точність експрес вимірювання діелектричної проникності сипких матеріалів та інших величин пов'язаних з нею, в тому числі вологості зернових культур.

### Список використаних джерел

1. Роман Івах, Михайло Дорожовець, Іван Питель. Систематизація методів вимірювання вологості сипких матеріалів // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2003. – Вип. 62. С. 97–101.
2. Кричевский Е. С., Волченко А. Г., Галушкин С. С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов. – Москва: Энергоатомиздат. 1987.
3. Берлинер М. А. Измерения влажности / Берлинер М. А. – Москва: Энергия, 1973. – 400 с.
4. <http://www.microradar.narod.ru>.
5. ГОСТ 13586.5-93. Зерно. Метод определения влажности.
6. Пилипчук М. І. Основи наукових досліджень: підруч. / Пилипчук М. І., Григор'єв А. С., Шостак В. В. – К.: Знання, 2007. – 271 с.
7. Білей П. В., Довга Н. Д., Ханик Я. М. та ін. Методологія наукових досліджень технологічних процесів: Навч. посіб. – Львів: Панорама, 2003. – 182 с.
8. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч. посіб. – Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2007. – 624 с.
9. Основи метрології та вимірювальної техніки : [підруч: у 2 томах] / Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б, Василюк В., Борек Р., Ковальчук А. / за ред. д.т.н., проф. Б. Стадника. – Т. 2. Вимірювальна техніка. – Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2005. – 656 с.

### References

1. Roman Ivakh, Mykhaylo Dorozhovets', Ivan Pytel'. (2003). Systematyzatsiya metodiv vy-miryuvannya volohosti syppykh materialiv // Vymiryuval'na tekhnika ta metrolohiya. — Vyp. 62. S. 97–101. (in Ukrainian)
2. Krichevskij E. S., Volchenko A. G., Galushkin S. S. (1987). Kontrol' vlazhnosti tverdih i sypanykh materialov. – Moskva: Jenergoatomizdat.. (in Russian)
3. Berliner M. A. (1973). Izmerenija vlazhnosti / Berliner M. A. – Moskva: Jenergija, – 400 s. (in Russian)
4. <http://www.microradar.narod.ru>. (in Russian)

5. GOST 13586.5-93. Zerno. Metod opredelenija vlazhnosti. (in Russian)
6. Pylypchuk M. I. (2007). Osnovy naukovykh doslidzhen': pidruch. / Pylypchuk M. I., Hry-hor'yev A. S., Shostak V. V. – K.: Znannya, – 271 s. (in Ukrainian)
7. Biley P. V., Dovha N. D., Khanyk Ya. M. ta in. (2003). Metodolohiya naukovykh doslidzhen' tekhnolohichnykh protsesiv: Navch. posib. – L'viv: Panorama, – 182 s. (in Ukrainian)
8. Dorozhovets' M. (2007). Opratsyuvannya rezul'tativ vymiryuvan': Navch. posib. – Vyd-vo NU "L'vivs'ka politekhnik", – 624 s. (in Ukrainian)
9. Osnovy metrolohiyi ta vymiryuval'noyi tekhniky : (2005). [pidruch: u 2 tomakh] / Dorozho-vets' M., Motalo V., Stadnyk B., Vasylyuk V., Borek R., Koval'chuk A. / za red. d.t.n., prof. B. Stadnyka. – T. 2. Vymiryuval'na tekhnika. – L'viv: Vyd-vo NU "L'vivs'ka po-litekhnik", – 656 s. (in Ukrainian)

## ERROR CORRECTION CAUSED BY INSTABILITY OF BIOCHEMICAL COMPOSITION OF PARTICULATE MATERIALS WHILE MEASURING THE HUMIDITY

Ivakh Roman<sup>1</sup>, Ivakh Myroslava<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University,  
12, Stepan Bandera St., Lviv, 79000, Ukraine  
ivakh.r@gmail.com

<sup>2</sup>JV "RosanPak" ltd,  
3, Lvivska bichna St., Sokilnyky, Pustomyivskyy district,  
Lviv region, 81130, Ukraine

*It has been found out that when measuring the dielectric penetrability of particulate materials on the measurement result, other factors affect it besides the instrumental errors, including temperature of particulate materials and uninformative components that are caused by dependence ambiguity of the dielectric penetrability from the measured value.*

*Thanks to the proposed method of partial replacement, the component of errors from the effects of biochemical composition and other uninformative parameters that determine the ambiguous dependence of the dielectric penetrability of the studied parameter can be reduced to a few dozen times to the level of a few hundredths of a percent in the ambiguity of the dielectric penetrability in (1 - 2)% and to the level of a few tenths of a percent in the ambiguity of (3 - 5)%.*

**Keywords:** *humidity measuring, dielectrometry, capacitance primary converters, instability of biochemical composition.*

*Стаття надійшла до редакції 01.11.2016.*

*Received 01.11.2016.*