

ISSN 2073-8730

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



---

# НАУКОВІ ПРАЦІ

---

ВИПУСК  
ТОМ 1 43

---

ОДЕСА  
2013

**ЗМІСТ**

**НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.  
МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ**

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАДОКСЫ ЭКОНОМИКИ УКРАИНЫ	
<b>Бурдо О.Г.</b> .....	4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА НА УСТАНОВКЕ АК-70 С ПОМОЩЬЮ ПИНЧ-АНАЛИЗА	
<b>Ульев Л.М., Яценко О.А.</b> .....	11
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРОКОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ РІДИНИ З ТВЕРДИМ ТІЛОМ	
<b>Лаврінченко Н.М.</b> .....	16
МЕТОД ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛО – И МАССООБМЕНА ПРИ ТРЕХМЕРНОМ ЛАМИНАРНОМ, ПЕРЕХОДНОМ И ТУРБУЛЕНТНОМ РЕЖИМАХ ТЕЧЕНИЯ	
<b>Никитенко Н. И., Снежкин Ю. Ф., Сороковая Н. Н., Кольчик Ю.Н.</b> .....	20
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ В КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ	
<b>Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сороковая Н.Н.</b> .....	26
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ГУМІНОВО-МІНЕРАЛЬНИХ ТВЕРДИХ КОМПОЗИТІВ	
<b>Корнієнко Я.М., Мартинюк О.В., Мельник М.П., Гайдай С.С., Семененко Д.С.</b> .....	32
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МАСОВІДДАЧІ ВІД НЕОБМЕЖЕНОГО ТОНКОГО ЛИСТКА У ЕКСТРАГЕНТ	
<b>Дячок В.В., Мараховська А.О.</b> .....	35
ИНТЕНСИВНОСТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ПРИ ПОДОГРЕВЕ НЕФТИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ	
<b>Капустенко П.А., Арсеньева О.П., Юзбашьян А.П.</b> .....	40
ПИТОМІ ВИТРАТИ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЗНЕВОДНЕННІ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ	
<b>Бурдо О.Г., Терзієв С.Г., Яровий І.І., Борщ А.А.</b> .....	44
ЕЛЕКТРОІМПЕДАНСНА ТОМОГРАФІЯ ЯК МЕТОД НАТУРНОЇ ВЕРИФІКАЦІЇ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ МАСОПЕРЕНОСУ РЕЧОВИНИ	
<b>Балабан С.М., Яворський Б.І., Промович Ю.Б.</b> .....	48
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ ГУМАТІВ З БУРОГО ВУГІЛЛЯ	
<b>Сапон А.Ю., Степанюк А. Р., Тишко Ю.А.</b> .....	52

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ПРОЦЕСИ І ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ  
ВИРОБНИЦТВ**

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ СИНТЕЗЕ ФЕРРАТОВ	
<b>Головко Д.А.</b> .....	56
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МЕХАНІЧНИХ ДИСПЕРГАТОРІВ	
<b>Корнієнко Я.М., Мартинюк О.В., Михальчук О.Д., Мельник М.П., Семененко Д.С., Гайдай С.С.</b> .....	61
ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РЕГЕНЕРАЦІЇ РУЛОНОВАНИХ МЕМБРАННИХ МОДУЛІВ	
<b>Корнієнко Я.М., Гулієко С.В.</b> .....	65
ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ДЕРЖАННЯ НЕОРГАНІЧНИХ ПОЛІМЕРНИХ ФОСФАТІВ НАТРІЮ МЕТОДОМ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ	
<b>Гура Д.В., Черемисінова А.О., Сорока П.Г., Стеба В.К.</b> .....	68
НАПОЛНИТЕЛИ ЭЛАСТОМЕРОВ НА ОСНОВЕ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ	
<b>Тертьшный О.А., Гура Д.В., Сорока П.И., Овчаров В.И.</b> .....	74
ЗОВНІШНЬОДИФУЗІЙНА КІНЕТИКА АДСОРБЦІЇ КУПРУМУ ПРИРОДНИМ ЦЕОЛІТОМ	
<b>Гумницький Я.М., Сидорчук О.В.</b> .....	77



визначення оптимальних режимів сушіння для різних видів сировини та розробка нових способів контролю технологічних параметрів процесу сушіння.

**Висновки.** Перспективний крок в еволюції сушильних установок пов'язаний із завданням часткового механічного зневоднення, що можливо при комбінації бародифузійних технологій пів фільтраційного сушіння. Результати комплексних досліджень розробленого експериментального зразка мікрохвильової сушильної установки підтвердили перспективність запропонованих технічних рішень для багатошльової мікрохвильової обробки рослинної сировини. Природно, що запропоновані рішення вимагають ряду конструкторських рішень для забезпечення поточності, безпеки і продуктивності таких установок.

#### Література

1. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 368 с.
2. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок – Одесса: Полиграф, 2010 – 368 с.
3. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок. Энергетический аспект / Труды междунаучной конференции «Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов». – Воронеж: 2010. – С. 487.
4. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Ружицкая Н.В. Исследование модуля ленточной сушилки растительного сырья с комбинированным электромагнитным подводом энергии // Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов) СЭТТ-2011». – Т.1, Москва: 2011. – С. 422 – 426.

УДК 66.047

## ЕЛЕКТРОІМПЕДАНСНА ТОМОГРАФІЯ ЯК МЕТОД НАТУРАЛЬНОЇ ВЕРИФІКАЦІЇ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ МАСОПЕРЕНОСНОЇ РЕЧОВИНИ

Балабан С.М., к.т.н., доц.  
Яворський Б.І., д.т.н., проф.  
Промович Ю.Б.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль

*Доведено доцільність використання електроімпедансної томографії, як методу контролю за процесами масопереносу, зокрема сушіння, представлено структурну схему електроімпедансного томографа і результати дослідження процесів розподілу вологості і концентрації напружень під час сушіння зразків цегли-сирцю в лабораторних умовах.*

*Practicability of using the electro impedance tomography as the technique of non-destructive mass transfer processes, drying in particular, is proved; the structural scheme of electro impedance tomography is proposed; the results of investigating the moisture distribution and the stress concentration in brick row samples in the laboratory are analyzed.*

**Ключові слова:** електроімпедансна томографія, масоперенесення, сушіння, вологість, цегла

**Постановка проблеми.** З поміж технологічних процесів хімічної, харчової та сільськогосподарських галузями промисловості, сушіння виділяється складністю, довготривалістю, енергоємністю та дороговизною. В окремих випадках, наприклад, під час конвективного сушіння з періодичною подачею теплоносія, необхідно контролювати не тільки загальну вологість, але й розподіл вологості в матеріалі. Від такої інформації залежить тривалість періодів подачі сушильного агента і вимоги до нього. Для вирішення поставлених завдань пропонується використовувати неруйнівні методи контролю за розподілом вологості.

Впровадження у виробництво перспективних і ефективних методів сушіння, зокрема конвективного сушіння з періодичною подачею сушильного агента, вимагає використання безперервних методів контролю за вологістю виробів, що піддаються сушінню. Оскільки, якість і ефективність сушіння залежать від рівномірності висихання виробів, важливо при цьому правильно встановити режим циклів подачі сушильного агента і відстоювання. Отже, запропонований спосіб контролю

... інформацію про розподіл вологи у структурі виробів, що піддаються сушінню. Перелічені методи можна успішно вирішити використовуючи томографію [1].

Особливу увагу потрібно звернути на електроімпедансну томографію (ЕІТ) в основу якої покладено нові структурні властивості провідності змісту вологи у матеріалі. ЕІТ є новим напрямком досліджень і, порівняно з іншими способами томографії, доволі простий у реалізації та використанні. Ці роботи в яких приведені приклади використання ЕІТ для виявлення хвороб та ушкоджень стовбура дерева, медичної діагностики, геологічної розвідки [2, 3].

Для дослідження розподілу вологи у структурі виробів, що піддаються сушінню, запропоновано біполярну електроімпедансну томографію, в якому подання зондуючого струму та вимірювання спадів напруги проводять одночасно однією парою електродів вимірювальної системи [4]. Це дозволяє використати також кондуктометричні вологоміри для задачі пошуку розподілу вологи в товщі твердого середовища. ЕІТ можна використовувати для вимірювання вологості матеріалів, що характеризуються певною ступенем ізоляції та однорідністю структури, наприклад цегли – сирцю, або деревини.

**Метою статті.** Дослідження можливості використання ЕІТ для моніторингу розподілу вологості у виробі, що сушиться конвективним способом. Вивчення особливостей використання біполярної ЕІТ для контролю за розподілом вологості при конвективному сушінні цегли-сирцю.

**Основна частина.** Для проведення досліджень розподілу вологи під час конвективного сушіння цегли-сирцю виготовлено макет біполярного томографа, схема якого приведена на рис. 1. Особливістю конструкції такого томографа являється використання в якості вимірювального перетворювача кондуктометричного вологоміра DampFinder виробництва Laserliner, Німеччина. Томограф такої конструкції є, фактично, багатоканальним кондуктометричним вологоміром, оскільки в ньому подання зондуючого струму та вимірювання спадів напруги проводяться одночасно однією парою електродів вимірювальної системи.

Для досліджень використовували зразки циліндричної форми діаметром  $D = 60$  мм і довжиною  $L = 100$  мм. Експерименти проводили на п'яти однаково підготовлених зразках і за результати дослідів обчислювали середні значення. При цьому використовували 8-ми електродний макет біполярного томографа, електроди вимірювальної системи розташовували на бокових поверхнях циліндричних зразків (рис. 2).

Експерименти проводили у сушильній установці, яка дозволяє реалізувати схему конвективного сушіння з рециркуляційною подачею сушильного агента. Для нагрівання сушильного агента до заданої температури і підтримування параметрів на необхідному рівні сушильна установка обладнана датчиком температури та нагрівальними елементами потужністю 220 Вт і 75Вт.

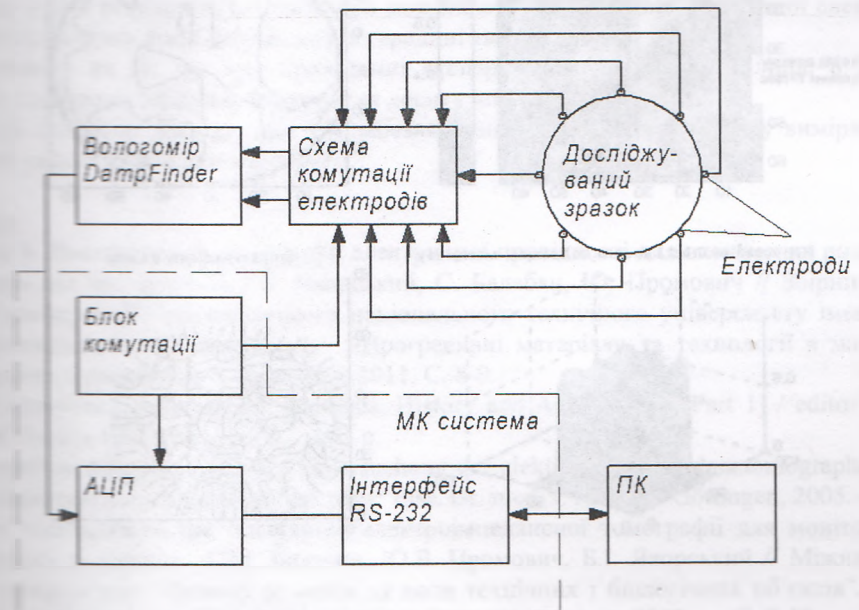


Рис. 1 – Схема структурна макету томографічної системи на основі вологоміра DampFinder

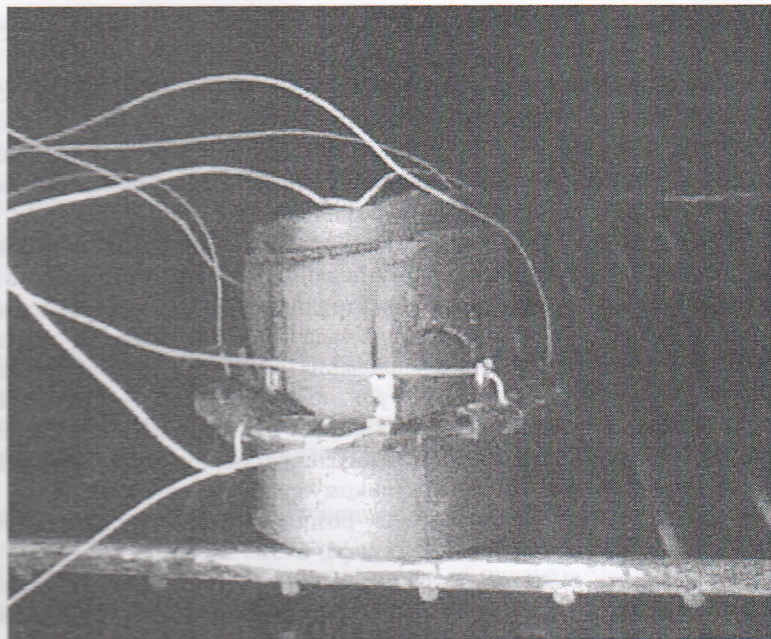


Рис. 2 – Циліндричний зразок виготовлений із цегли-сирцю з накладеними електродами

Особливістю досліджуваного приладу є використання кондуктометричного вологоміра, що дає змогу дослідити динаміку зміни розподілу вологості всередині зразка в межах (0,2-2,2)% з точністю  $\pm 0,05\%$ . Дослідження проводили при температурі сушильного агента  $80^{\circ}\text{C}$ . Результати сушіння представлені на томограмах розподілу провідності (Рис. 3.4), які відбирались через однакові проміжки часу. Оброблення даних та візуалізація проводились з використанням системи Matlab<sup>®</sup>. Приведені томограми розподілу води по товщині дослідного зразка показують розподіл води на 750-й та 1500-й секундах експерименту.

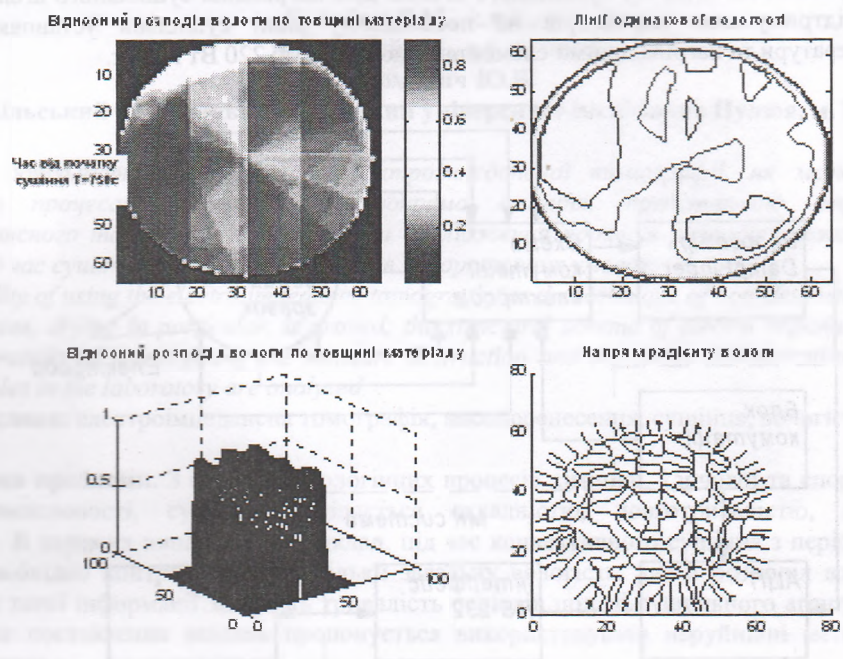
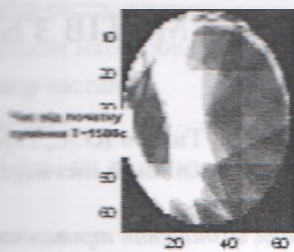
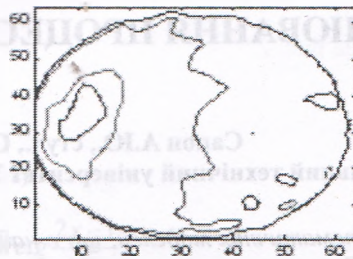


Рис. 3 – Томограма відносного розподілу води в циліндричному зразку з цегли-сирцю на 750-й секунді від початку сушіння при температурі  $80^{\circ}\text{C}$

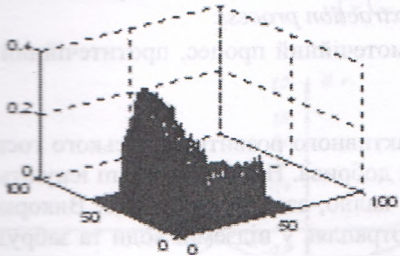
Відносний розподіл вологи по товщині матеріалу



Лінійне значення вологості



Відносний розподіл вологи по товщині матеріалу



Напрямок дристу вологи

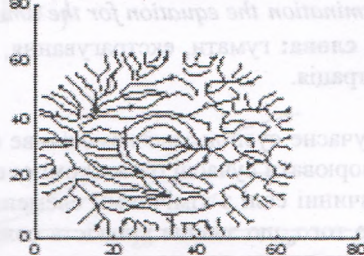


Рис. 4 – Томограма відносного розподілу вологи в циліндричному зразку з цегли-сирцю на 1500-й секунді від початку сушіння при температурі 80°C

Оскільки провідність досліджуваного зразка залежить не тільки від вмісту вологи, але й від кількості розчинених в ньому солей і, в цілому, для кожного часткового випадку щоб отримати не лише якісну, але й кількісну інформацію про характер розподілу вологи потрібно проводити калібрування томографа. При використанні диференціального режиму вимірювання отримані відносні зображення змогу оцінити величину градієнта вологості.

**Висновки**

1. Отримані якісні результати свідчать про можливість застосування біполярної електроімпедансної томографії для визначення розподілу вологи в середині твердих тіл.
2. Як звичаючи на те, що при проведенні експерименту використано лише 8 з можливих 32 напрямкових електроди отримані зображення досить інформативні.
3. Необхідні подальші дослідження для забезпечення розширення діапазону вимірювань, розробки методів калібрування та повірки томографа.

**Література**

1. Яворський Б. Використання томографії електричної провідності для визначення розподілу вологи в цегли-сирцю під час сушіння / Б. Яворський, С. Балабан, Ю. Промович // Збірник тез доповідей наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Механіко-технологічного факультету «Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті»: - Тернопіль, 2011, С. 8-9.
2. Electrical Impedance Tomography: Methods, History and Applications [Part 1] / editor David Holder // Institute of Physics Publishing, 2004. — 61 p.
3. Hinz J. Experimentelle und klinische Untersuchung der elektrischen Impedanztomographie zur regionalen Lungenfunktionsprüfung beatmeter Patienten: diss. Dr. med. J. Hinz. — Göttingen, 2005. —115 p.
4. Балабан С.М. Застосування біполярної електроімпедансної томографії для моніторингу процесів масо переносу речовини / С.М. Балабан, Ю.Б. Промович, Б.І. Яворський // Міжнародна науково-технічна конференція “Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів”. Тези наукових доповідей. — Кременчук: КДУ імені Михайла Остроградського, 2012. — С. 9-10.