

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ДЛЯ МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

© Поджаренко В.О., Шабатура В.Ю., Грицюк А.М., 2007

Наведено основні принципи побудови і оптимального функціонування магнітогидродинамічної системи очищення води, отримано статичні метрологічні характеристики вимірювального каналу для МГД системи.

The principles of construction and optimum functioning of magnetohydrodynamic system for water purification were analyzed. Static metrological characteristics for measuring channel of MGD system were obtained.

### Вступ

З огляду на складну екологічну ситуацію у світі та в Україні зокрема виникає потреба у створенні та розробленні систем для очищення і фільтрування води як для промислових, так і для побутових потреб. Сьогодні існує велика кількість таких систем, які ґрунтуються на механічних, фізичних, хімічних, біологічних методах очищення. Магнітогидродинамічна (МГД) система для очистки води, яка передбачає сепарацію одного вхідного потоку води на три вихідні, є новим і досить перспективним напрямком [1]. Практичне застосування таких систем має низку суттєвих переваг порівняно з іншими, а саме: МГД-системи не використовують жодних хімічних реагентів або фільтруючих елементів, які з часом можуть потребувати поповнення чи заміни, їм не потрібні цикли регенерації, окрім того, вони не вимагають жодних зовнішніх енергетичних затрат. Однак для контролю та оптимального управління роботою таких систем потрібно здійснювати вимірювання в реальному масштабі часу певних параметрів, які об'єктивно відображають стан технологічного процесу в МГД-системі. Тому важливим є розроблення вимірювальних каналів для МГД-систем із нормованими метрологічними характеристиками.

### Аналіз фізичних і технічних аспектів МГД-системи

МГД-технологія [4] ґрунтується на взаємодії рухомих частинок, які мають електричний заряд з сильним магнітним полем. А оскільки переважна більшість домішок у водних розчинах перебуває в іонізованому вигляді або стає гідратованими з відповідним поверхневим зарядом, то під час руху води в магнітному полі на такі частинки буде діяти сила Лоренца. Її величина пропорційна швидкості руху частинки, величині її заряду та індукції магнітного поля, а напрямок дії визначається за „правилом лівої руки” і залежить від знаку заряду.

$$F_l = qvB \sin \alpha, \quad (1)$$

де  $q$  – заряд частинок;  $B$  – індукція магнітного поля;  $v$  – швидкість частинок;  $\alpha$  – кут між векторами  $B$  та  $v$ .

Конструкцію каналів виконано так, що під час руху в активній зоні кут  $\alpha$  між векторами  $B$  та  $v$  завжди дорівнює  $90^\circ$ , тому формулу (1) можна записати у вигляді:

$$F_l = qvB. \quad (2)$$

Дослідження, які були виконані в попередніх роботах [1, 3, 4], дають змогу зробити висновок про те, що ефективність і якість виконання задачі перерозподілу в загальному потоці води залежить від концентрацій частинок забруднень відповідно до знаку та величини їх заряду і маси, в результаті чого створюються зони прошарків води, в яких концентрації забруднень певними речовинами можуть відрізнятися, як показали експерименти, на порядки, а також від збереження

цілісності цих прошарків аж до моменту їх механічного розділення на виході системи. Крім того, ефективність цієї технології залежатиме від просторової конфігурації каналів системи, швидкості та інтервалу часу перебування потоку води в зоні дії поля і характеру поведінки води в каналах системи. Причому для ефективнішої роботи системи рух води у вхідній частині каналу повинен бути турбулентним, але не вихрового, а коливального характеру, оскільки це дасть змогу дещо змінити структуру води за рахунок зменшення динамічної в'язкості та гідратованості іонів забруднень. У зоні взаємодії з полем і у вихідній частині каналів системи потік води повинен мати ламінарний характер протікання, при якому повністю відсутнє перемішування речовини сусідніх слоїв.

Сегмент робочого каналу, який виконується у вигляді щілини прямокутного перерізу з відповідними лінійними розмірами, показано на рис. 1.

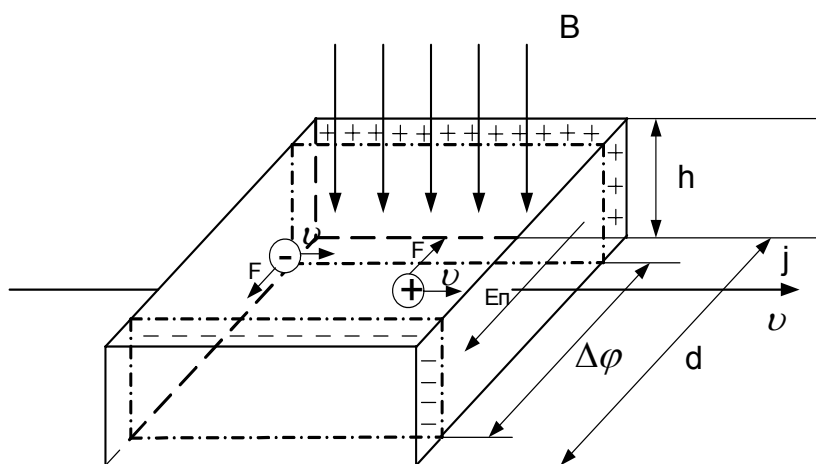


Рис. 1. Сегмент робочого каналу магнітогідродинамічної системи

Перерозподіл концентрацій іонізованих часток забруднень відбувається під дією сили Лоренца, як це показано на рис. 1. Отже, біля протилежних граней каналу будуть створені зони підвищених концентрацій зарядів. Це приведе до виникнення додаткового поперечного електричного поля з напруженістю  $E_n$ . Стаціонарного розподілу цих зарядів буде досягнуто лише тоді, коли напруженість поля зросте до такого значення, що його дія на заряджені частки врівноважить дію сили Лоренца, тобто:

$$qE_n = q\Delta\varphi / d = qvB, \quad (3)$$

звідки отримуємо

$$\Delta\varphi = vBd. \quad (4)$$

Отже, у першому наближенні рівняння перетворення системи можна описати виразом (4). Параметр  $\Delta\varphi$  досить зручно вимірювати як напругу, що виникає між вихідними каналами в процесі роботи системи. Рівняння (4) є лише спрощеною моделлю, оскільки не враховує часовий інтервал релаксації конгломератів забруднень та їх концентрацію і характер поведінки води в каналах системи.

На основі експериментальних досліджень було знайдено оптимальне значення швидкості руху води на вході системи, за якої досягався максимум значення контрольованої напруги. Для стаціонарного випадку, за умов стабільності показників забруднення (водопровідна вода) діапазон оптимального значення швидкості руху вхідної води при експериментах на лабораторній установці лежав в межах 3,0 – 3,45 м/с. Значення напруги при цьому становили 0,76 – 0,82 В.

#### Мета дослідження

Мета роботи – визначення статичних метрологічних характеристик вимірювального перетворення для МГД системи очищення води: номінальної функції перетворення, абсолютної і відносної похибки нелінійності, абсолютної мультиплікативної та абсолютної адитивної похибки за вхідними величинами.

### Статичні метрологічні характеристики

Залежно від режиму роботи засобів вимірювання розрізняють їх статичні і динамічні характеристики. Оскільки досліджувана в цій роботі технологія орієнтована на переважно стаціонарний режим роботи, розглянемо основні статичні характеристики: чутливість, номінальна функція перетворення, похибка нелінійності, мультиплікативна та адитивна похибки.

Складність отримання статичних характеристик полягає в тому, що функція вимірювального перетворення описує для різних засобів вимірювань різні фізичні процеси, які належать до різних галузей знань і є функціями багатьох змінних. Загальний підхід до проведення нормування точності засобів вимірювань в статичному режимі розглянуто в [2]. Цей підхід використовує розклад функції перетворення в ряд Тейлора.

Розкладемо рівняння вимірювального перетворення для МГД-системи (4) в ряд Тейлора в точці  $A(v, B, d)$ , при цьому введемо позначення  $\Delta\varphi = U$ :

$$U = U(A) + \frac{\partial U}{\partial v}(v - v_H) + \frac{\partial U}{\partial B}(B - B_H) + \frac{\partial U}{\partial d}(d - d_H) + \frac{\partial^2 U}{\partial v^2}(v - v_H)^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial v \partial d}(v - v_H)(d - d_H) + \frac{\partial^2 U}{\partial B^2}(B - B_H)^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial B \partial d}(B - B_H)(d - d_H) + \frac{\partial^2 U}{\partial d^2}(d - d_H)^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial v \partial B}(v - v_H)(B - B_H). \quad (5)$$

У цьому виразі  $U$  – вихідна величина засобу вимірювання,  $v$  – вхідна величина,  $B, d$  – впливні величини. Прийнемо такі позначення:

$$S_g = \frac{\partial U}{\partial v} = Bd - \text{номінальний коефіцієнт перетворення (чутливість } U \text{ по } v),$$

$$S'_g = \frac{\partial^2 U}{\partial v^2} = 0 - \text{зміна чутливості } S_g \text{ по діапазону перетворення,}$$

$$\beta_B = \frac{\partial U}{\partial B} = vd, \quad \beta'_B = \frac{\partial^2 U}{\partial B^2} = 0 - \text{коефіцієнти впливу } B \text{ на вихідний параметр } U,$$

$$\beta_d = \frac{\partial U}{\partial d} = vB, \quad \beta'_d = \frac{\partial^2 U}{\partial d^2} = 0 - \text{коефіцієнти впливу } d \text{ на вихідний параметр } U,$$

$$\alpha_{dg} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial v \partial d} = \frac{1}{2} B - \text{коефіцієнт впливу } d \text{ на номінальну чутливість } S_g,$$

$$\alpha_{Bg} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial v \partial B} = \frac{1}{2} d - \text{коефіцієнт впливу } B \text{ на номінальну чутливість } S_g,$$

$$\gamma = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial B \partial d} = \frac{1}{2} v - \text{коефіцієнт спільного впливу параметрів } B \text{ та } d \text{ на швидкість.}$$

Враховавши прийняті позначення, запишемо рівняння перетворення так:

$$U = U(A) + S_g(v - v_H) + \beta_B(B - B_H) + \beta_d(d - d_H) + S'_g(v - v_H)^2 + a_{gd}(v - v_H)(d - d_H) + \beta'_B(B - B_H)^2 + \alpha_{gB}(v - v_H)(B - B_H) + \beta'_d(d - d_H)^2 + \gamma(B - B_H)(d - d_H). \quad (6)$$

Номінальна функція перетворення:

$$U = U(A) + S_g(v - v_H) = U(A) + Bd(v - v_H). \quad (7)$$

Абсолютна похибка нелінійності номінальної функції перетворення:

$$\Delta U_H = S'_g(v - v_H)^2 + \beta'_B(B - B_H)^2 + \beta'_d(d - d_H)^2 = 0. \quad (8)$$

Абсолютна мультиплікативна похибка перетворення  $\mathcal{G}$  та  $B$ :

$$\Delta U_M = a_{gd}(v - v_H)(d - d_H) + \alpha_{gB}(v - v_H)(B - B_H) = \frac{1}{2} B(v - v_H)(d - d_H) + \frac{1}{2} d(v - v_H)(B - B_H). \quad (9)$$

Абсолютна адитивна похибка перетворення за рахунок зміни  $B$  і  $d$ :

$$\Delta U_A = \beta_B(B - B_H) + \beta_d(d - d_H) + \gamma(B - B_H)(d - d_H) = \nu d(B - B_H) + \nu B(d - d_H) + \frac{1}{2}\nu(B - B_H)(d - d_H). \quad (10)$$

Графічні результати числового моделювання номінальної функції перетворення, абсолютної мультиплікативної похибки перетворення  $U(v, B)$ , абсолютної мультиплікативної похибки перетворення  $U(v, d)$ , абсолютної адитивної похибки перетворення  $U(v, d)$ , та абсолютної адитивної похибки перетворення  $U(v, B)$  наведені на рис. 2, 3, 4, 5, 6. Моделювання проведено за допомогою програмного середовища Maple.

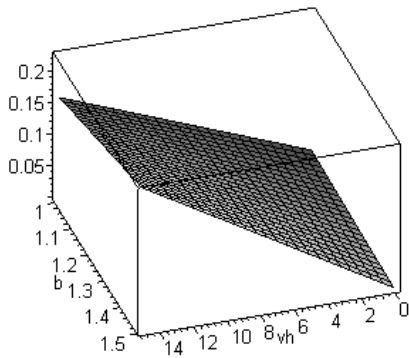


Рис. 2. Номінальна функція перетворення

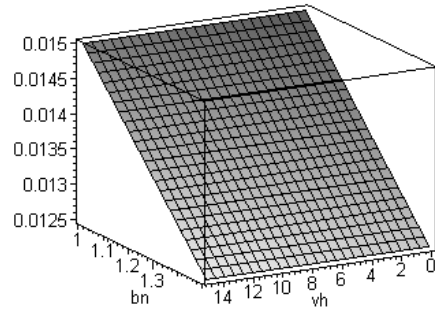


Рис. 3. Абсолютна мультиплікативна похибка перетворення  $U(v, B)$

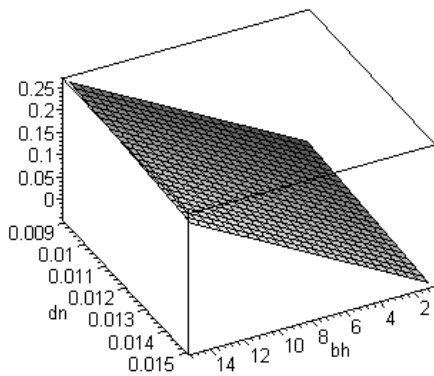


Рис. 4. Абсолютна мультиплікативна похибка перетворення  $U(v, d)$

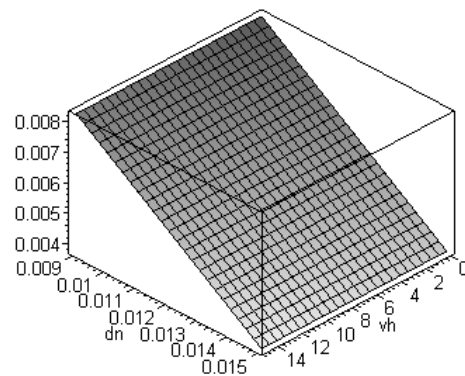


Рис. 5. Абсолютна адитивна похибка перетворення  $U(v, d)$

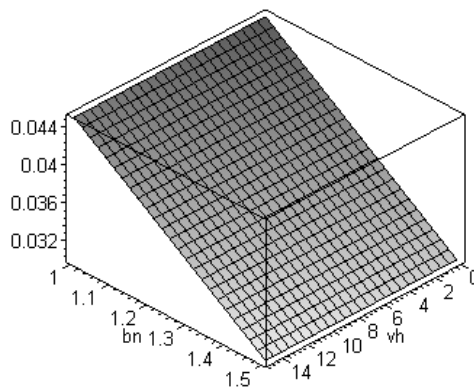


Рис. 6. Абсолютна адитивна похибка перетворення  $U(v, B)$

## Висновки

У цій роботі розглянуто окремі питання, які стосуються особливостей оптимального функціонування МГД системи очищення води, визначено статичні метрологічні характеристики вимірювального каналу для МГД-системи за допомогою розкладу в ряд Тейлора рівняння вимірювального перетворення, що дає змогу об'єктивно оцінювати ефективність застосування вказаної системи в стаціонарному режимі. У зв'язку із тим, що МГД-технологія є ще недостатньо вивченою, через надзвичайну складність моделей гідродинаміки в умовах дії сильних магнітних полів існує невирішена проблема побудови адекватної моделі поведінки системи в умовах динамічної зміни параметрів, яка враховуватиме всі впливні величини. У перспективі, після розроблення такої моделі стане можливим отримання достовірної оцінки динамічних метрологічних характеристик вимірювального каналу для МГД-системи.

1. Васюра А.С., Шабатура Ю.В. Дослідження та оптимізація просторово-часових параметрів магнітогідродинамічної системи очищення води // "Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології". – 2002.– №2. – С. 185–193. 2. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. – Вінниця. ВДТУ, 2001. – 220 с. 3. Патент України № 63514 А. Пристрій для очистки рідини в магнітному полі / Ю.В. Шабатура, О.П. Григор'єв, М.Ю. Шабатура. Опублік. 2004 Бюл. № 1. 4. Шабатура Ю.В., Штельмах І.М., Зелена О.В. Розробка теоретичних засад, та проектно-експериментальних досліджень для оптимізованої в часі магнітогідродинамічної сепарації рідини / Заключний звіт по темі № 8127 № держреєстрації 0104U008024, інвентарний № 0205U002957. 2005. – 46 с.

УДК 536.53

І.П. Микитин, Н. Кобіщанова

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

## КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ ШУМОВИХ СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ШВИДКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є

© Микитин І.П., Кобіщанова Н., 2007

Досліджено спектр моделей шумового сигналу, завади синусоїдальної, трапецієвидної, прямокутної форми і корисного шумового сигналу, спотвореного завадою до та після цифрової фільтрації на основі перетворення Фур'є. Як критерій якості проведеної фільтрації запропоновано використовувати гістограму спектра досліджуваного сигналу.

Conducted the research of spectrum of models of noise signal, hindrance of sins, trapezium, rectangular form and useful noise signal disfigured by a hindrance to and after digital filtration on the basis of the Fourier's transformation .As criterion of quality of the conducted filtration it is suggested to use the histogram of spectrum of the explored signal.

### Постановка проблеми

Використання швидкого перетворення Фур'є дає змогу створювати цифрові інтелектуальні фільтри [1] для шумових термометрів (ШТ). Фільтри такої структури мають складну конфігурацію, поєднують у собі смуговий фільтр для створення робочої частотної смуги шумового термометра та режекторні фільтри на певні частоти, яких може бути досить багато. Крім того, фільтр повинен адаптуватися до змін зовнішніх завад, які виникають за рахунок наведень від потужних джерел змінної напруги, та внутрішніх, які створюються всередині вторинної апаратури шумових термометрів.

Якщо роботою ШТ керує оператор, то він повинен мати на екрані монітора інформацію про результати фільтрації. Для теплового шуму спектр має рівномірний характер. Тому провівши фільтрацію із певними заданими параметрами та візуально оцінивши спектр сигналу, оператор