

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВІДДАЛІ МІЖ ВИМІРЮВАЛЬНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ НАМАГНІЧУВАННЯ ВОДНО-ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

© Олег Буняк, Ігор Коноваленко, 2001

Тернопільський державний університет ім. І. Пулюя, вул. Руська, 56, 46001, Тернопіль, Україна

Запропоновано метод визначення віддалі між вимірювальними перетворювачами для системи контролю параметрів оброблених магнітним полем водно-дисперсних систем. Розрахунок проводився за статистичними параметрами розподілу напруженості магнітного поля в середовищі. Наведено приклад використання методу при дослідженні седиментації цукрового виробництва.

Предложен метод определения расстояния между измерительными преобразователями для системы контроля параметров обработанных магнитным полем водно-дисперсных систем. Расчет проводился по статистическим параметрам распределения напряженности магнитного поля в среде. Приведен пример использования метода при исследовании процесса седиментации сахарного производства.

The method of definition of distance between measuring transducers for the monitoring system of parameters to the water-dispersed systems, treated by a magnetic field is offered. The calculation was conducted on distribution statistical parameters of magnetic field intensity in environment. The example of usage of a method is adduced at research of process of sedimentation of sugar production.

Сутність оброблення водно-дисперсних систем (ВДС) магнітними полями полягає в тому, що ВДС до технологічного застосування піддається дії короткочасних електромагнітних полів з відомими характеристиками і в результаті цього отримує нові властивості [1]. Висновки про досягнуту ефективність, як правило, можна зробити на основі зміни певних технологічних показників. Методи технологічного контролю, які є на підприємстві, не завжди можуть застосовуватися для контролю магнітооброблених ВДС і визначення найкращого режиму обробки. У цьому випадку виникає необхідність дослідження розподілу магнітної індукції в зоні впливу магнітного поля.

Контроль просторово розподілених полів – проблема, що має важливе значення в технічних і наукових дослідженнях. Найпростіше завдання контролю розподілу поля полягає у виборі кількості і розміщення датчиків по довжині посудини за умови безперервного його вимірювання. Такий підхід дасть можливість в цих точках контролювати зміну фізико-хімічних властивостей (водневий показник, в'язкість, поверхневий натяг, діелектричну постійну і т.п.) магнітооброблених ВДС [1].

Розглянемо цю задачу на прикладі дослідження розподілу напруженості магнітного поля H у водному середовищі при намагнічуванні по довжині дослідної

посудини. Допускається, що відоме значення середньоквадратичної похибки вимірювання розподілу магнітного поля σ (дисперсія для дискретних даних) У цьому випадку слід розглядати зміну напруженості H по довжині посудини ℓ як випадкову функцію $H(\ell)$. Враховуючи останнє, виникає необхідність для кожної i -ї точки посудини визначити оцінку математичного сподівання генеральної сукупності $\hat{H}(\ell_i)$ і для кожної пари точок i та j – значення кореляційної функції $K_H(\ell_i, \ell_j)$. У розглянутому випадку кожний вимір напруженості H_i являє собою параметр дії магнітного поля в ряді контрольованих точок в один і той самий момент часу. Щоб всі виміри параметра поля були незалежні один від одного, інтервал часу між вимірами сусідніх реалізацій $\Delta = \ell_{k+1} - \ell_k$ повинен бути таким, щоб забезпечити повну незалежність значення $H(\ell_i, \ell_{k+1})$ від значення $H(\ell_i, \ell_k)$. Цей інтервал часу може бути визначений з кореляційної функції i -ї точки поля від часу $K_{H(\ell_i)}(t)$ і повинен бути меншим, ніж час спаду кореляційної функції $K_{H(\ell_i)}(t)$, тобто часу, протягом якого зв'язок між значеннями вимірної величини в будь-якій точці посудини перестає помірно відрізнятися від нуля.

Для відомої кількості вимірних точок N і вимірів M можна шляхом обчислень оцінити статистичні характеристики дії магнітного поля на ВДС [2]. Оцінка математичного сподівання поля в i -й точці:

$$\hat{H}(\ell_i) = \frac{\sum_{k=1}^M H_k(\ell_i)}{M}, \quad (i=1,2,\dots,N), \quad (1)$$

де $H_k(\ell_i) = H(\ell_i, \ell_k)$.

Оцінка кореляційної функції для будь-яких двох точок поля:

$$K_H(\ell_i, \ell_j) = \frac{\sum_{k=1}^M [H_k(\ell_i) - \hat{H}(\ell_i)] \cdot [H_k(\ell_j) - \hat{H}(\ell_j)]}{M-1}, \quad (i=1,2,\dots,N; j=1,2,\dots,N). \quad (2)$$

Практично необхідні вихідні дані можуть бути одержані серією вимірювань напруженості магнітного поля у ряді довільних точок водного середовища.

Обчислення оцінки кореляційної функції в різних точках поля $K_H(\ell_i, \ell_j)$ повинно бути з'ясовано на предмет близькості їх значень при рівній віддалі між ними $L = \ell_i - \ell_j$.

Якщо така близькість присутня, поле можна вважати стаціонарним відносно кореляційної функції і усередненням значень $K_H(\ell_i, \ell_j)$ при різних i та j , але однаковому L , визначити оцінку кореляційної функції як стаціонарної випадкової функції поля. Можлива нестационарність по математичному сподіванню виключається усередненням центрованої випадкової функції $\dot{H}(\ell)$ для будь-якої вимірної точки поля, яка визначається за формулою [3]:

$$\dot{H}_k(\ell_i) = H_k(\ell_i) - \hat{H}(\ell_i), \quad (i=1,2,\dots,N; k=1,2,\dots,M). \quad (3)$$

Такий підхід до оцінки кореляційної функції на стаціонарність центрованою функцією уведений нами для визначення характеру розміщення вимірювальних перетворювачів по довжині посудини. Якщо оцінка кореляційної функції не залежить від точки поля, вимірні перетворювачі на різних ділянках поля розміщуються на одній і тій самій віддалі один від одного.

Розглянемо випадок стаціонарності поля щодо кореляційної функції, тобто поле, для якого центрована функція оцінюється як:

$$\hat{H}(\ell_i) \approx 0 \quad (i=1,2,\dots,N).$$

Дійсне значення поля по довжині ℓ , від верхньої точки посуду ℓ_0 , в будь-якій точці оцінюється інтерполяцією значень H_i в точках $\ell_0, \ell_1, \dots, \ell_{m-1}, \ell_m, \ell_{m+1}, \dots, \ell_n$, в яких цей параметр вимірюється давачами (див. рис. 1).

Інтерполяційний багаточлен дає значення поля $H_i(\ell)$ для будь-якої точки, причому необхідне виконання нерівності:

$$\sqrt{M \left[H(\ell) - \dot{H}(\ell) \right]^2} \leq \sigma^2, \quad (4)$$

де M – математичне сподівання.

У точці виміру з індексом ℓ_m виконується рівність:

$$H(\ell_m) \approx \dot{H}(\ell_m). \quad (5)$$

Здійснюючи просту параболічну інтерполяцію n -го степеня за формулою Лагранжа [4]:

$$H_1(\ell) = A_0 \cdot \dot{H}(\ell_0) + A_1 \cdot \dot{H}(\ell_1) + \dots + A_m \cdot \dot{H}(\ell_m) + \dots + A_n \cdot \dot{H}(\ell_n), \quad (6)$$

де

$$A_m = \frac{(\ell - \ell_0) \times \dots \times (\ell - \ell_{m-1}) \cdot (\ell - \ell_{m+1}) \times \dots \times (\ell - \ell_n)}{(\ell_m - \ell_0) \times \dots \times (\ell_m - \ell_{m-1}) \cdot (\ell_m - \ell_{m+1}) \times \dots \times (\ell_m - \ell_n)}, \quad (7)$$

одержимо розрахункове значення параметра поля в будь-якій точці. Точність розрахункового значення за формулою (6) залежить від степеня n інтерполяційного багаточлена.

Похибка інтерполяційного багаточлена визначається такою формулою [5]:

$$H_1(\ell) - H(\ell) = \frac{\overset{\circ}{H}(\varepsilon)}{(n+1)!} \cdot (\ell - \ell_0) \cdot (\ell - \ell_1) \times \dots \times (\ell - \ell_n), \quad (8)$$

де ε – проміжне значення між ℓ_0 та ℓ_n .

Оцінка добутку $(\ell - \ell_0) \times \dots \times (\ell - \ell_n)$ проводиться методом підставлення значення $\ell = \ell_m + \frac{h}{2}$, де h – шукана віддаль між сусідніми точками вимірювання (місцем розміщення сусідніх вимірних перетворювачів):

$$(\ell - \ell_0) \times \dots \times (\ell - \ell_n) = h^{n+1} \prod_{q=0}^n [(m-q) + 0.5]. \quad (9)$$

Максимальне значення вираз (9) набирає при $m = n$, тоді:

$$(\ell - \ell_0) \times \dots \times (\ell - \ell_n) \leq \frac{h^{n+1}}{2^{n+1}} \cdot 1 \times 3 \times 5 \times \dots \times (2n+1). \quad (10)$$

Якщо у формулу (4) підставити значення похибки інтерполяційного багаточлена (8), то, враховуючи вираз (10), одержимо:

$$\sigma \geq \frac{\sqrt{M \left[H^{(n+1)}(\varepsilon) \right]^2}}{(n+1)!} \cdot \frac{h^{n+1}}{2^{n+1}} \times 1 \times 3 \times 5 \times \dots \times (2n+1), \quad (11)$$

де $\sqrt{M \left[H^{(n+1)}(\varepsilon) \right]^2} = \left[H^{(n+1)}(\varepsilon) \right] = \delta$ – середньоквадратичне значення $(n+1)$ -ї похідної центрованої стаціонарної випадкової функції $\overset{\circ}{H}(\ell)$, для якої:

$$\delta = \sqrt{K_{H^{(n+1)}}(0)}. \quad (12)$$

Кореляційна функція $(n+1)$ -ї похідної дорівнює [6]:

$$K_{H^{(n+1)}}(L) = (-1)^{n+1} \cdot K_H^{[2(n+1)]}(L) \quad (13)$$

і підставляючи це значення у формулу (12), одержимо:

$$\delta = \sqrt{(-1)^{n+1} \cdot K_H^{[2(n+1)]}(0)}. \quad (14)$$

Оцінка $2(n+1)$ -ї похідної кореляційної функції може бути визначена з такої нерівності [5]:

$$\|K_H\|^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} |K_H(L)|^2 dL < \infty. \quad (15)$$

Тому:

$$\begin{aligned} \max_{-\infty < L < \infty} |K_H^{[2(n+1)]}(L)| &= |K_H^{[2(n+1)]}(0)| \leq, \\ &\leq \sqrt{\frac{f_3}{\pi}} \|K_H\| \cdot \frac{f_3^{2(n+1)}}{\sqrt{4n+5}}, \end{aligned} \quad (16)$$

де f_3 – частота зрізу спектра функції $K_H(L)$, яка дорівнює частоті зрізу спектральної щільності функції $H(L)$ і визначається з відомої кореляційної функції $K_H(L)$.

Підставляючи вираз (16) у вираз (14), і результуюче значення у вираз (11), одержимо:

$$\sigma \geq \frac{1 \times 3 \times 5 \times \dots \times (2n+1)}{(n+1)! 2^{n+1}} \cdot h^{n+1} \cdot \sqrt{\frac{f_3^{2(n+1)}}{\sqrt{4n+5}}} \cdot \sqrt{\frac{f_3}{\pi}} \|K_H\|. \quad (17)$$

Розраховуючи цей вираз відносно h , отримаємо:

$$h = \frac{2}{f_3} \cdot \sqrt{\frac{(n+1)! \cdot \sigma}{1 \cdot 3 \cdot 5 \times \dots \times (2n+1) \sqrt{\|K_H\|} \sqrt{\frac{f_3}{\pi(4n+5)}}}}. \quad (18)$$

Застосуємо запропоновану методикау на прикладі визначення необхідної відстані між давачами при контролі розподілу магнітного поля по довжині дослідної посудини. Задана середня квадратична похибка апроксимації розподілу поля в будь-якій точці по довжині посудини не повинна перевищувати 0.1 діапазону зміни розподілу поля в заданій точці поля.

Дослідна установка являє собою скляну колбу довжиною 30 см, в яку подається суспензія дифузійного соку І-ї сатурації (рН = 10.8%, сухих речовин – 16.4%). Досліджується проходження седиментації під дією зовнішнього електромагнітного поля. Поле створюється котушками, які намотані на металеве осердя. Довжина сектора дії поля по довжині посудини становить 10 см. Створюється постійне магнітне поле (U = 30 В, I=1А). Для визначення статичних характеристик в неоднорідному середовищі встановлено дев'ять давачів вимірювання значення напруженості, відстань між якими становить 1 см. Давач являє собою первинний вимірювальний перетворювач у вигляді перетворювача Холла. Перетворювач живиться від генератора змінної напруги частотою 1000 Гц через трансформатор. Електрорушійна сила Холла вимірюється за допомогою компенсатора (вимірювач магнітної індукції Ш1-8), який призначений для вимірювання магнітної індукції постійних магнітних полів. Оскільки компенсатор і перетворювач Холла живляться від одного і того самого джерела, виключається похибка від нестабільності напруги і частоти джерела живлення.

Для набору множини реалізацій були зафіксовані значення магнітної індукції в 20 незалежних моментах часу.

Розподіл магнітної індукції по довжині дослідної посудини показано на рис. 1 (тут $H = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu}$, де

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ – магнітна стала Гн/м, μ – відносна магнітна проникність середовища ($\mu = 1.033$)).

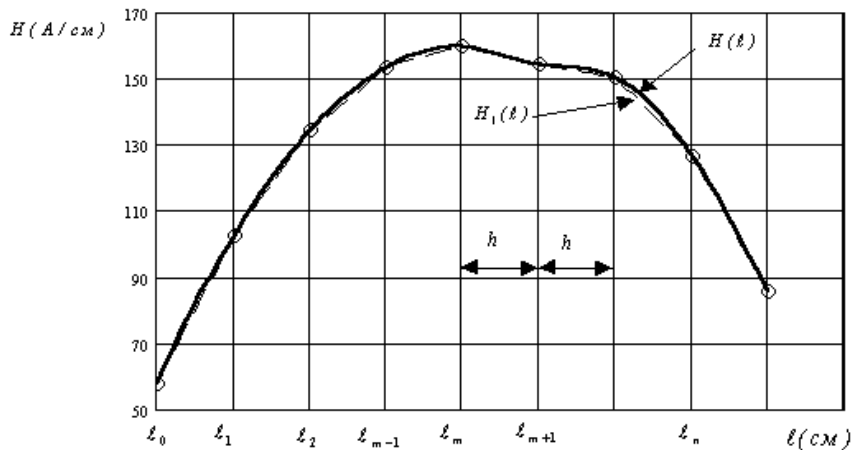


Рис. 1. Розподіл напруженості магнітного поля у водно-дисперсному середовищі в зоні магнітного впливу

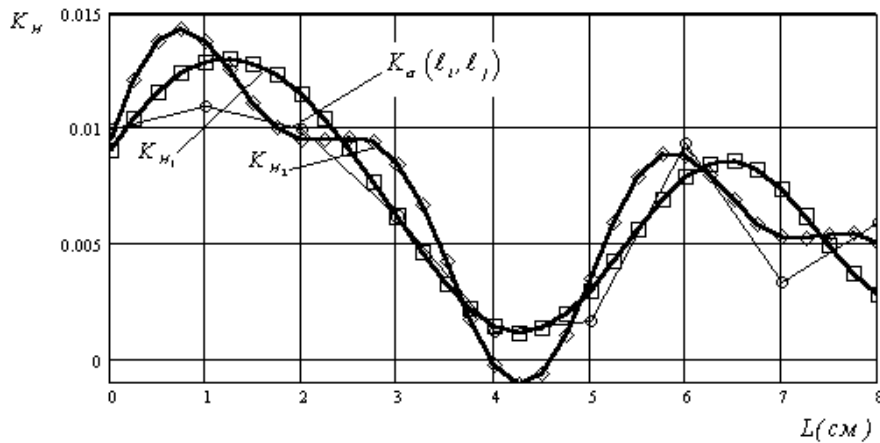


Рис. 2. Кореляційна функція розподілу електромагнітного поля по довжині посудини L

Обчислювалася оцінка кореляційної функції поля за одержаними вихідними даними по таких етапах:

1. Обчислення оцінки математичного сподівання поля в i -й точці за формулою (1); тут під індексом i слід розуміти місця виміру розподілу напруженості $0, 1, \dots, 7, 8$ см, а під індексом k – кількість вимірів ($K_{max} = 20$).

2. Обчислення оцінки дисперсії по кожній точці (формула 2) для випадків, коли $i = j$, центрування всіх вихідних даних (формула 3) та переведенням їх у відносні одиниці:

$$\sigma_k(l_i) = \frac{\overset{\circ}{H}(l_i)}{3 \cdot \sqrt{K_H(l_i, l_j)}}.$$

3. Обчислення оцінок кореляційної функції по кожній точці, де вимірювалося значення напруженості:

$$K_\sigma(l_i, l_j) = \frac{\sum_{k=1}^M \sigma_k(l_i) \sigma_k(l_j)}{M - 1}.$$

Порівнюючи значення кореляційної функції, можна відзначити невеликий розкид значень при різних i та j . Це означає, що випадкову функцію розподілу напруженості електромагнітного поля по довжині дослідної посудини можна вважати стаціонарною щодо її кореляційної функції. Усреднюючи значення $K_\sigma(l_i, l_j)$ при однакових L , отримуємо оцінку кореляційної функції розподілу напруженості магнітного поля по довжині дослідної посудини (рис. 2).

Одержана залежність апроксимувалась поліномом Фур'є 2-го порядку (K_{H_1}) з наступним покращанням отриманого результату дискретним перетворенням

Фур'є (K_{H_2}) [2]. Для визначення віддалі між вимірними перетворювачами використана формула (18), для якої частота зрізу спектра функції визначається із значення спектральної щільності розподілу магнітного поля ($f_s = 1.569$). У таблиці показані значення віддалі між вимірними точками дослідної посудини, при заданих значеннях середньоквадратичної похибки вимірювання магнітного поля та різних n (видах інтерполяції).

Значення віддалі між вимірними точками дослідної посудини

№	Вид інтерполяції	n	σ_v	h (см)
1.	Лінійна	1	0.1	0.76
			0.2	1.08
2.	Квадратична	2	0.1	1.388
			0.2	1.749

Висновки.

1. Запропонована методика визначення віддалі між вимірними перетворювачами при побудові систем

управління намагнічування ВДС. Ця віддаль визначається за умови заданого значення середньоквадратичної похибки, прийнятого виду інтерполяції і за статистичними характеристиками магнітного поля.

2. Описана методика може знайти застосування там, де вимірний параметр (температура, тиск тощо) розподілений в просторі.

1. Миненко В.И. Магнитная обработка водно-дисперсных систем. – К., 1970. 2. Бабак В.П., Хащецький В.С., Шрюфер Е. Обробка сигналів. К., 1996. 3. Буняк А.М. Метод кореляційного аналізу для контролю розподілених у просторі параметрів. – К., – №4, 1975. – С. 21-23. 4. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). // Г.Корн, Т.Корн. – М., 1973. 5. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М., 1979. 6. Ицкович Э.Л. Контроль производства с помощью вычислительных машин. – М., 1975. 7. Буняк А.М., Коноваленко І.В. Розробка обчислювального комплексу для контролю за процесом відстоювання промислових напівпродуктів / Вісник Тернопільського приладобудівного інституту. 1996. – № 2. – С. 114-116.

УДК 681.121.84

РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ЗА МЕТОДОМ ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

© Євген Пістун, Роман Дубіль, Федір Матіко, 2001

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Автоматизація теплових та хімічних процесів", вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглянуто існуючі методи розширення діапазону вимірювання витрати за методом змінного перепаду тиску. Запропоновано нові підходи щодо розширення діапазону вимірювання у витратомірних системах та їх реалізації на базі мікропроцесорних обчислювачів.

Рассмотрены существующие методы расширения диапазона измерения расхода методом переменного перепада давления. Предложены новые подходы к расширению диапазона измерения в расходоизмерительных системах и их реализации на базе микропроцессорных вычислителей.

The article contains the analysis of existing methods of widening the range of the flow rate measurement using method of alternating pressure differential. The new method of widening the range of the flow rate measurement is proposed for flow-measuring microprocessor-based systems.

Одним із основних недоліків методу змінного перепаду тиску є вузький діапазон вимірювання витрати. Для його розширення використовувались пристрої звуження потоку зі змінною площею отвору та багатодіапазонні витратомірні установки [1, 2], схеми яких показані на рис. 1.

Застосування пристроїв звуження потоку із змінною площею отвору вимагає введення в потік рухомих елементів та градування таких пристроїв. Необхідність градування пристрою звуження потоку ліквідує одну із основних переваг методу змінного перепаду тиску – можливість застосування без інди-