

УДК 62.505.5

Ю. В. Шабатура, к. т. н., доц.;

А. М. Грицюк, студ.

# НОВА ТЕХНОЛОГІЯ МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЇЇ РОБОТИ

*Наведено фізичні принципи роботи магнітогідродинамічних систем очищення води. На основі експериментальних досліджень запропоновано метод оптимального керування магнітогідродинамічною системою із застосуванням інтегрованої інформаційно-вимірювальної системи контролю вихідної напруги і регулювання швидкості вхідного потоку води.*

## Проблематика роботи та її актуальність

Сучасний період існування людської цивілізації характеризується не тільки високим розвитком техніки та технологій, але водночас і різким загостренням екологічних проблем. Серед останніх особливо гостро стоїть проблема водних ресурсів. Адже вода є основою будь-якої форми життя на Землі і саме її поява зумовила все різноманіття живої матерії на нашій планеті. Як відомо людина на 70 % складається з води, а за своє життя вона в середньому споживає 65—75 тон води. Тому, якщо якість питної води погана, то вона з «еліксиру життя» перетворюється в основну причину погіршення здоров'я і зменшення тривалості життя. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я кожний рік у прісноводні ріки всього світу скидається до 450 мільярдів м<sup>3</sup> побутових і промислових відходів. Це вже призвело до накопичення у воді більше 13 тисяч токсичних сполук. Крім того, медики дослідили, що більше 80 % захворювань передається з водою, які в кінцевому рахунку призводять до загибелі більше 25 мільйонів людей щорічно [1].

Результати наведених досліджень спричинили розробку і масовий випуск різноманітних систем для очищення і фільтрування води як для промислових, так і для побутових потреб. Однак практично всі вони є системами періодичної дії, які потребують для свого нормального функціонування періодичної заміни фільтруючих елементів, поповнення спеціальних хімічних реагентів, або виконання процесу регенерації. Разом з тим в Україні, незважаючи на непросту економічну ситуацію, яка не дозволяє виділяти достатньо коштів на розвиток та реконструкцію водоочисних систем, розроблена і запатентована унікальна, магнітогідродинамічна технологія [3], яка дозволяє створювати системи очистки води як в промислових, так і в побутових масштабах. Водоочисні системи, які базуються на новій технології не потребують жодних енергетичних затрат. Вони не використовують ніяких хімічних реагентів, або фільтруючих елементів, які з часом можуть потребувати поповнення, або заміни, і зрозуміло їм непотрібні цикли регенерації. Принцип дії магнітогідродинамічних систем очищення води базується на використанні взаємодії сильних магнітних полів з водою та компонентами забруднень при її русі в каналах спеціальної конфігурації з просторовим розділенням на три потоки при виході з активної зони взаємодії. В раніше опублікованих роботах [2, 5, 6] виконані дослідження з метою оптимізації просторово-часових параметрів магнітогідродинамічних систем очищення води, та здійснено розробку систем автоматичного контролю та регулювання процесом на основі вимірювань електропровідності води. Разом з тим залишилась невирішеною задача побудови інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), які дозволятимуть отримувати оперативну інформацію про якість процесу очистки в умовах динамічної зміни забрудненості вхідної води на основі оцінки часових інтервалів релаксації з безперервним вимірюванням різниці потенціалів на вихідних каналах.

## Постановка мети та цілей роботи

Виконати аналіз та дослідження технології магнітогідродинамічного очищення води та проаналізувати аспекти функціонування ІВС для її контролю.

## Аналіз фізичних та технічних аспектів об'єкта контролю і регулювання

Магнітогідродинамічна технологія ґрунтується на взаємодії рухомих частинок, що мають електричний заряд, з сильним магнітним полем. А оскільки переважна більшість домішок у водних розчинах перебуває в іонізованому вигляді, або стають 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  $v$ .

Конструкція каналів виконана таким чином, 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

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

Якщо врахувати, що вода є однорідним середовищем для магнітного поля і позначити масу заряджених часток через  $m_q$ , то у відповідності з другим законом Ньютона ці частки повинні отримати прискорення

$$a = \frac{\mu \mu_0 H v q}{m_q}, \quad (3)$$

де  $\mu$  і  $\mu_0$  — відносна і абсолютна магнітна проникність води.

Дослідження, які були виконані в попередніх роботах [2, 5], дозволяють зробити висновок про те, що ефективність і якість виконання задачі перерозподілу в загальному потоці води 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 збереження цілісності цих прошарків, аж до моменту їх механічного розділення на виході системи, буде залежати 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 дозволить 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 шарів.

Додатково збільшити ефективність роботи системи можна за рахунок ефекту виникнення гідродинамічних пульсацій [4], які виникають внаслідок взаємодії води з стінками каналу,

$$W = (0,103 \cdot \text{Re}^{0,515}) \frac{v}{d}, \quad (4)$$

де  $W$  — частота гідродинамічних пульсацій,  $\text{Re}$  — критерій Рейнольдса,  $d$  — характерний лінійний розмір, в даному випадку — ширина каналу.

З наведеної формули видно, що збільшення швидкості протікання веде до зростання частоти пульсацій. Останні мають резонансний характер і приводять до зміни структури води та зменшення гідратованості іонів розчинених у воді речовин. Таким чином, це приводить до збільшення локалізації заряду часток забруднень і таким чином підвищує ефективність їх взаємодії з поперечним магнітним полем.

### Аналітичні дослідження

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

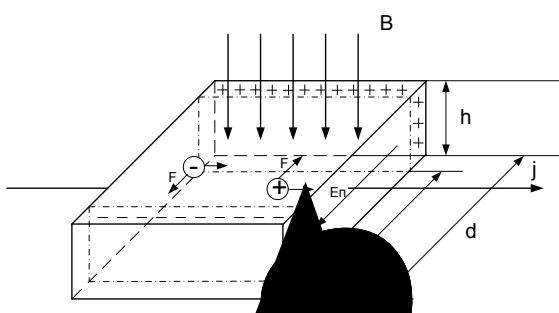


Рис. 1. Сегмент робочого каналу магнітогідродинамічної системи

Перерозподіл концентрацій іонізованих часток забруднень відбувається під дією сили Лоренца, як це показано на рисунку. Таким чином біля протилежних граней каналу будуть створені зони підвищених концентрацій зарядів. Це приведе до виникнення додаткового поперечного електричного поля з напруженістю  $E_n$ . Стационарний розподіл цих зарядів буде досягнутий лише тоді, коли напруженість поля зросте до такого значення, що його дія на заряджені частки врівноважить силу Лоренца, тобто

$$qE_n = q\Delta\varphi / d = qvB$$

звідки отримуємо

$$\Delta\varphi = vBd \tag{6}$$

Середня швидкість впорядкованого руху зарядів буде відповідати середній швидкості руху води в робочому каналі. Її можна знайти з співвідношення для густини струму  $I$

$$I = jS = nqvS = nqvhd, \tag{7}$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу каналу. Остаточно отримуємо таку модель

$$\Delta\varphi = \frac{1}{nq} \frac{IB}{h} = k \frac{IB}{h}, \tag{8}$$

де  $k$  – коефіцієнт, який залежить від концентрації часток забруднень та їх заряду.

Отже, як впливає з моделі (8), значення  $\Delta\varphi$  за умови стаціонарності процесу буде залежати від концентрації і виду забруднень води. Даний параметр досить зручно вимірювати як напругу, що виникає між вихідними каналами в процесі роботи системи. Крім того досягнення максимуму цієї напруги буде свідчити, що в системі досягнуто оптимальне співвідношення між часовим інтервалом релаксації конгломератів забруднень, які були активовані у вхідній, турбулентній зоні системи і швидкістю потоку води в робочій зоні каналів системи.

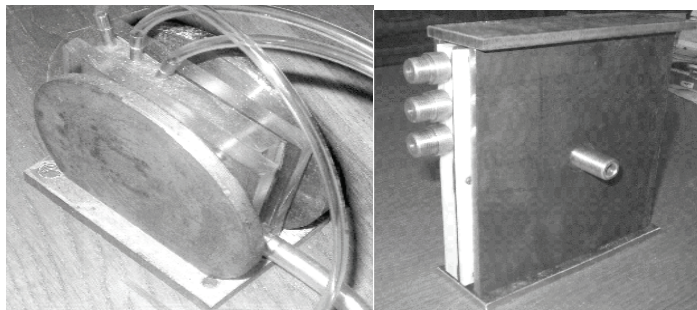


Рис. 2. Дослідні зразки МГД систем очистки води

### Експериментальні установки

Для проведення експериментальних досліджень було створено кілька дослідних зразків МГД-систем. На рис. 2 показані фотографії двох зразків, лабораторного і промислового призначення.

Конструкції показаних систем мають по одному вхідному штуцеру і по три вихідних. Їхні магнітні системи на основі

надпотужних постійних магнітів NeFeBr мають зовнішні магніто-проводи, які збільшують індукцію магнітного поля в робочій зоні каналів системи і ліквідують зовнішнє поле розсіювання. Принциповою відмінністю показаних зразків є конструкція введення вхідного потоку води в область робочої зони каналу.

### Результати досліджень

Проведені дослідження роботи дослідних зразків з використанням інтегрованої інформаційно-вимірювальної системи дозволили визначити оптимальне значення продуктивності роботи систем, при яких досягається найбільша ефективність очистки води від основної групи забруднюючих речовин. В якості останніх були взяті: кальцій, магній, залізо, амоній, хлориди, сульфати, нітрати і гідрокарбонати. Результати досліджень для технічної води зведені в таблицю.

Катіони	Вхідна мг\л	Уст. 1 вих1	Уст. 1 вих2	Уст. 1 вих3	Уст. 2 вих1	Уст. 2 вих2	Уст. 2 вих3
Кальцій	170	44	62	160	150	62	40
Магній	37,2	24,3	17,02	34,05	30,4	23,1	36,5
Залізо	0,22	0,2	0,01	0,11	0,04	0,1	0,08
Амоній	0,31	Не зн.	0,3	0,3	0,27	Не зн.	0,2
Аніони	—	—	—	—	—	—	—
Хлориди	47,9	44,7	37,9	31,9	38,3	31,9	38,3
Сульфати	62,6	60,0	60,0	52,8	60,9	62,0	43,6
Нітрати	0,18	0,12	0,11	0,14	0,08	0,1	0,14
Гідрокарбонати	600	305	488	427	183	549	366

Інтегрована інформаційно-вимірювальна система дозволяла в динаміці вимірювати різницю потенціалів між 1-м та 3-м виходами системи. На основі цієї інформації було знайдено оптимальне значення швидкості руху води на вході системи при якій 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 контрольованої ІВС напруги при цьому становили 0,76...0,82 В. Для відомої геометрії конструктивних розмірів робочої зони каналу експериментальної установки часовий інтервал релаксації конгломератів забруднень склав 0,12...0,14 секунди.

### Висновки

В роботі розглянуті фізичні принципи роботи магнітогідродинамічних систем очищення води. Теоретично обґрунтований і експериментально досліджений ефект виникнення різниці потенціалів між вихідними каналами. Запропоновані підходи до оптимального керування МГД системою на основі застосування інтегрованої ІВС контролю вихідної напруги і регулювання швидкості вхідного потоку води.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Микитюк О. М., Злотін О. З., Бровдій В. М. Екологія людини: Підручник. — Харків: «ОВС», 2004. — 256 с.
2. 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.
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. Голицейский А. С., Рыжов Н. И. Теплообмен и гидродинамика в колеблющихся потоках. — М.: Машиностроение, 1977. — 236 с.
5. 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.
6. Ю. В. Шабатура, О. П. Григор'єв. Система автоматичного контролю і оптимального регулювання магнітною сепарацією рідин // Вісник технологічного університету Поділля. — 2003. — № 3. — Том 1. — С. 54—57.

**Шабатура Юрій Васильович** — доцент кафедри метрології та промислової автоматики; **Грицюк Анастасія Миколаївна** — студентка Інституту автоматики, електроніки та комп'ютерних систем управління.

Вінницький національний технічний університет