

УДК 514. 8

## МЕТОДИ ЛАЗЕРНОЇ ДОПЛЕРІВСЬКОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ТА ДІАМЕТРУ ЧАСТИНОК ДОМШОК СТІЧНИХ ВОД ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Морозов М. В. к. ф. – м. н.,

Мовчан С. І. к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. / факс (0619) 42 – 24 – 11

**Анотація** – розглянуто методи зміни чутливості, підвищення точності та автоматизації вимірювання параметрів частинок домішок водних розчинів при електрофорезі з використанням лазерної доплерівської інтерферометрії

**Ключові слова** – лазерна доплерівська інтерферометрія; аналого – цифровий перетворювач; локальні схеми очищення стічних вод; математичне, комп'ютерне моделювання форми й параметрів доплерівського сигналу.

*Постановка проблеми.* Оптичні, лазерні методи дозволяють вимірювати гідромеханічні параметри частинок домішок стічних вод промислових підприємств з метою контролю якості очищення. При розробці й проектуванні локальних схем очищення виробничих стічних вод також важливе значення мають технології вимірювання швидкості, ефективного діаметру та електрокінетичного потенціалу частинок [1, 2]. Подальше удосконалення методів вимірювання відіграє важливу роль у поширенні застосування цих способів контролю і аналізу ефективності очищення, що обумовлює актуальність цього напрямку досліджень.

Метою контролю якості очищення є отримання інформації про головні показники, що визначають якість очищення, а саме концентрацію розчину, ефективний діаметр та електрокінетичний потенціал частинок домішок. Вдосконалення методу лазерної доплерівської інтерферометрії потребує підвищення чутливості та автоматизації вимірювань. Для цього необхідно удосконалення математичного комп'ютерного моделювання процесу вимірювання, оцінки можливих похибок та визначення меж застосування лазерного методу [3].

*Аналіз останніх досліджень.* Для визначення концентрації частинок домішок у водному розчині в реальному часі використовують

еталонний розчин з відомою концентрацією  $n_0$ . Спочатку вимірюють кількість  $K_0$  імпульсів доплерівського сигналу за одиницю часу для еталонного розчину, потім до вимірювальної камери спрямовують розчин, що досліджується і вимірюють кількість  $K_1$  відповідних імпульсів доплерівського сигналу. Концентрація  $n_1$  частинок домішок водного розчину визначається за формулою:

$$n_1 = \frac{K_1}{K_0} \cdot n_0. \quad (1)$$

Таким чином, за допомогою формули (1) здійснюється оцінка концентрації частинок та якості очищення стічних вод у реальному часі [4].

*Формулювання цілей статті.* Метою даної роботи є підвищення точності вимірювань, забезпечення зміни діапазону вимірювання швидкості й автоматизації процесу вимірювання та обробки отриманих результатів. Для досягнення поставленої мети необхідно вдосконалити математичне, комп'ютерне моделювання форми й параметрів доплерівського сигналу, а також розробити спосіб та пристрій для його здійснення при зміні кута між двома зондуючими променями диференціальної оптичної схеми лазерного доплерівського інтерферометра.

*Основна частина.* Для визначення швидкості частинки при електрофорезі використовується диференційна оптична схема лазерного доплерівського інтерферометра, яка дозволяє змінювати діапазон вимірювання параметрів частинки та автоматизувати процес вимірювань [5]. Спосіб вимірювання швидкості, ефективного діаметру і електрокінетичного потенціалу частинки при електрофорезі здійснюється наступним чином. За допомогою світлоподільника 2, дзеркала 3 та лінзи 4 когерентне випромінювання гелій – неонових лазерів 1 поділяють на два променя і фокусують в зондуючу зону електрофоретичної камери 5 (рис. 1). Ці два освітлюючих променя розташовані під кутом  $\alpha$  один до одного, який дорівнює:

$$\alpha = \arctg \cdot \frac{H}{2 \cdot F}, \quad (2)$$

де  $H$  - відстань між двома лазерними променями;  
 $F$  - фокусна відстань лінзи 4.

Світлоподільник 2 та дзеркало 3 встановлені з можливістю зміни відстані  $H$  та, таким чином, і кута  $\alpha$ , що дозволяє змінювати діапазон вимірювання швидкості. На рис. 1 представлена схема експери-

ментального вимірювального пристрою для дослідження процесу електрофореза при очищенні стічних вод гальванічного виробництва.

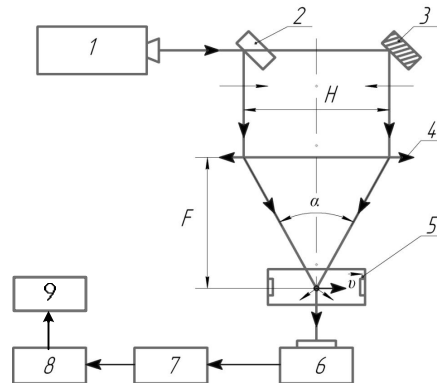


Рис. 1. Схема лазерного доплерівського інтерферометра для вимірювання електрофоретичної швидкості, ефективного діаметру та електрокінетичного потенціалу руху частинок у водних розчинах:

1 - джерело когерентного випромінювання (лазер ЛГН – 222); 2 - світлоподільник ; 3 – дзеркало; 4 – лінза з фокусною відстанню  $F$ ; 5 - електрофоретична камера; 6 - фотоприймач (ФЕП 84 - 5); 7 – цифровий запам'ятовуючий осцилограф С 9 - 8; 8 – аналого – цифровий перетворювач (АЦП); 9 - персональний комп'ютер (ПК).

Інтенсивність світла, яке розсіюється частинкою котра рухається зі швидкістю  $v$  у напрямку перпендикулярному оптичній осі лінзи 4, реєструється за допомогою фотоприймача 6, вихід якого електрично пов'язаний через запам'ятовуючий цифровий осцилограф 7 та аналого – цифровий перетворювач 8 з персональним комп'ютером 9. В результаті математичного моделювання форми доплерівського сигналу з виходу лазерного інтерферометра [3] отримано зв'язок між швидкістю та діаметром частинки з характеристиками доплерівського сигналу. Необхідно визначити частоту  $\nu$  та час зростання  $t_1$  амплітуди сигналу з виходу лазерного інтерферометра. Тоді автоматично, у реальному часі обчислюються швидкість  $v$  частинки за формулою:

$$\nu = \frac{v \cdot \lambda}{2 \cdot n \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (3)$$

де  $\lambda = 0,6328 \cdot 10^{-6}$  м - довжина хвилі випромінювання гелій – неоновому лазера;  $n = 1,33$  - показник заломлення водного розчину.

Час зростання  $t_1$  амплітуди доплерівського сигналу залежить від діаметра частинки  $D$ , швидкості частинки  $v$ , кута  $\alpha$  між двома зон-

дуючими променями та діаметра  $b$  лазерного променя в зондуєчій зоні перетину двох пучків. Цей діаметр  $b$  лазерного променя у фокальній площині лінзи 4 дорівнює:

$$b = 1,22 \cdot \lambda \cdot \frac{F}{d}, \quad (4)$$

де  $d$  - діаметр гаусового лазерного променя до лінзи 4, з фокусною відстанню  $F$ .

Тоді ефективний діаметр  $D$  частинки визначається за формулою:

$$D = v \cdot t_1 \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - 0,1 \cdot b \quad (5)$$

Величина електрокінетичного дзета - потенціалу  $\xi$  визначається за допомогою формули Смолуховського:

$$\xi = \frac{3 \cdot \eta \cdot v}{2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \text{Å}}, \quad (6)$$

де  $\eta = 10^{-3}$  Па·с – коефіцієнт в'язкості води;

$\varepsilon = 81$  – відносна діелектрична проникність води;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф / м – електрична стала;

$E = 10^3$  В / м – напруженість електричного поля.

Особливістю експериментального лазерного доплерівського інтерферометра є можливість шляхом зміни відстані  $H$  між світлоподільником та дзеркалом змінювати кут  $\alpha$  між двома зондуєчими променями, що забезпечує зміну чутливості пристрою й діапазон величин швидкості та ефективного діаметру, які вимірюються.

*Висновки.* Розроблено методику лазерної доплерівської інтерферометрії, внаслідок чого розглянута можливість підвищення межі чутливості, діапазону вимірювання швидкості та діаметру частинок домішок при електрофорезі шляхом зміни кута між двома зондуєчими променями лазерного доплерівського інтерферометра і автоматизації процесу вимірювання та обробки отриманих результатів. Таким чином, забезпечується удосконалення метода вимірювання гідромеханічних параметрів частинок домішків й контролю ефективності очищення стічних вод промислових виробництв у реальному часі.

#### Література

1. Мовчан С. И. Технология контроля качества очистки сточных вод гальванического производства методом лазерной доплеровской

интерферометрии. / С. И. Мовчан, Н. В. Морозов // Науковий вісник будівництва.- Вип. 47. –Х: ХДТУБА, 2008. – С. 245 - 249.

2. Мовчан С. І. Вимірювання гідромеханічних параметрів частинок методом лазерної доплерівської інтерферометрії./ С. І. Мовчан, М. В. Морозов // Матеріали науково – практичної конференції «Вода та довкілля VII Міжнародного Водного Форуму «АКВА UKRAINE - 2009». - Київ, 2009. – С. 184 - 194.

3. Морозов М. В. Моделювання процесу вимірювання гідромеханічних параметрів частинок в лазерній доплерівській інтерферометрії / С. І. Мовчан, М. В. Морозов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Вип. 10. - Т. 8. – Мелітополь, 2010 – С. 256 – 264.

4. Патент Україна на корисну модель № 34874 А. МПК<sup>7</sup> G 01 N 15 / 00. Спосіб вимірювання ефективного діаметру та концентрації частинок у розчині / М. В. Морозов, С. І. Мовчан. – Заявка № 2008 03869. Заявл. 27. 03. 2008. Друк. 26. 08. 2008, Бюл. № 16.

5. Пат. № 58534 Україна, МПК<sup>7</sup> G 01 N 15 / 00. Пристрій для вимірювання швидкості частинки домішок в рідині / М. В. Морозов, С. І. Мовчан. – № 2010 14210; опубл. 11. 04. 2011, Бюл. № 7.

### **МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ И ДИАМЕТРА ЧАСТИЦ ПРИМЕСЕЙ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

М. В. Морозов, С. И. Мовчан

*Аннотация* – рассмотрены методы изменения чувствительности, повышения точности и автоматизации измерения параметров частиц примесей водных растворов при электрофорезе с использованием лазерной доплеровской интерферометрии.

### **METHODS LASER DOPPLER INTERFEROMETRIA OF SPEED AND DIAMETER MEASURING OF PARTICLES OF ADMIXTURES IN FLOW WATERS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

М. Morozov, S. Movchan

#### *Summary*

The methods of sensitiveness laser change, increase of accurate and automation of parameters measuring of admixtures particles in water solutions with the laser Doppler interferometria are considered.