

Анализ полученных результатов свидетельствует, что концентрация газа существенно изменяется по длине коллектора. При этом интенсивность изменения определяется скоростью газа в подводном пространстве коллектора и коэффициентом диффузии примесного газа в воздухе. Сравнение расчета с данными, полученными при эксплуатации коллекторов [1], показало их хорошее качественное и количественное совпадение.

1. Дрозд Г.Я., Зотов Н.И., Маслак В.Н. Канализационные трубопроводы: надежность диагностика, санация. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2000. – 260 с.

2. Калюжный Г. С., Коваленко А.А., Соколов В.И. Диффузия газов и аэрозолей в турбулентных потоках. – Луганск: Изд-во Восточноукраинского гос. ун-та, 1999. – 100 с.

3. Соколов В.И., Коваленко А.А., Калюжный Г.С. Инженерные задачи диффузии примеси в потоке. – Луганск: Изд-во Восточноукраинского гос. ун-та, 2000. – 168 с.

Получено 14.01.2002

УДК 628.543.8 : 534.615

С.І.МОВЧАН

*Таврійська державна агротехнічна академія, м.Мелітополь*

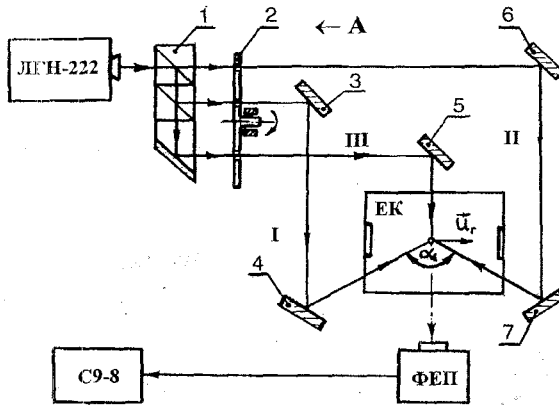
### **ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, ДІАМЕТРА І ДЗЕТА-ПОТЕНЦІАЛУ ЧАСТИНОК ДОМШОК У РІДИНІ МЕТОДОМ ДОПЛЕРІВСЬКОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ**

Наводиться методика визначення швидкості, діаметра і дзета-потенціалу частинок, що рухаються в рідині під дією сили тяжіння і електрофоретичної сили методом лазерної доплерівської інтерферометрії. Одночасне вимірювання означених параметрів здійснюється за допомогою оригінальної конструкції електромеханічного модулятора лазерного випромінювання.

Проведення експресного аналізу очистки стічних вод гальванічного виробництва є дуже важливим завданням при розробці технології водоочисного обладнання. Визначення діаметра і швидкості частинок, що рухаються в рідині під дією сили тяжіння і електрофоретичної сили, можливе за допомогою контрольно-вимірювальної техніки методами лазерної доплерівської анемометрії. Методи лазерної інтерферометрії дозволяють вимірювати швидкість руху частинки в реальному часі з великою точністю і в широкому діапазоні значень ( $10^{-6}$  м/с... $10^6$  м/с). Але відомі способи [1, 2] визначення параметрів частинок, що рухаються в рідині, не дозволяють одночасно встановити горизонтальну і вертикальну складові швидкості руху. Крім того, в доплерівській інтерферометрії вимірюється тільки величина швидкості, а її напрямок залишається незначним. Нами пропонується спосіб і пристрій лазерного доплерівського інтерферометра, що забезпечують

одночасне вимірювання трьох компонентів швидкості частинки. У цьому випадку використовується доплерівський ефект зсуву частоти при розсіюванні лазерного випромінювання колоїдною або дисперсною частинкою, що рухається у розчині. Була застосована диференціальна схема лазерного доплерівського виміру швидкості. На рисунку зображена оптична схема запропонованого лазерного доплерівського інтерферометра.

Випромінювання гелій-неонового лазера ЛГН-222 спрямовуються на світлоподільник 1, за допомогою якого формуються три паралельних пучки. Електроmechanічний модулятор 2 являє собою диск з прорізами, що дозволяє послідовно в часі сформувати за допомогою дзеркал 3,4,5,6 в досліджуваній зоні електрофоретичної камери (ЕК) три системи інтерференційних смуг. Розсіяне від частинки, що рухається зі швидкістю  $\vec{u}$ , когерентне випромінювання реєструється фотоелектронним помножувачем (ФЕП). Доплерівський сигнал з виходу фотоприймача (ФЕУ-84-5) подається на запам'ятовуючий цифровий осцилограф С 9-8.



Оптична схема лазерного доплерівського інтерферометра для вимірювання швидкості, дзета-потенціалу і ефективного діаметра частинок домішок

Спочатку першим і другим лазерними пучками (третій пучок перекритий) у просторі електрофоретичної камери утворюється перша вертикальна система інтерференційних смуг, просторовий період яких дорівнює:

$$\Lambda_1 = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha_1 / 2}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі випромінювання лазера в середовищі;  $\lambda = \lambda_0/n$ ;  $\lambda_0 = 0,6328$  мкм – довжина хвилі для випромінювання He-Ne лазера;  $n$  – показник заломлення розчину.

Тоді частота доплерівського сигналу з виходу ФЕП становить

$$v_1 = \frac{2U_1 \sin \alpha_1 / 2}{\lambda} \quad (2)$$

За допомогою цифрового запам'ятовуючого осцилографа С9-8 вимірюється доплерівська частота сигналу  $v_1$ , що відповідає цій першій системі вертикальних інтерференційних смуг, та визначається горизонтальна складова швидкості частинки – проекція вектора швидкості на напрямок перпендикулярний

$$U_{\Gamma} = U_1 = \frac{v_1}{2n \sin \alpha_1 / 2} \lambda, \quad (3)$$

де  $\lambda$  – довжини хвилі випромінювання лазера;  $\alpha$  – кут між першим та другим пучками;  $n$  – показник заломлення розчину.

Визначивши електрофоретичну швидкість, за допомогою формули Смолюховського обчислюємо електрокінетичний дзета-потенціал частинки:

$$\zeta = \frac{3 U_{\Gamma} \eta}{2 \varepsilon \varepsilon_0 E}, \quad (4)$$

де  $E$  – напруга електричного поля;  $\eta$  – в'язкість розчину

Потім для визначення величини вертикальної складової швидкості  $U_B$  і напрямку горизонтальної складової  $U_{\Gamma}$  в тій самій області утворюємо другу систему інтерференційних смуг  $120^\circ$ . Ця друга система утворюється першим і третім пучками (другий пучок перекритий). Знаходимо доплерівську частоту  $v_2$  сигналу, що відповідає проекції швидкості на другий напрямок, тоді

$$U_{\Gamma} = U_1 = \frac{v_2}{2n \sin \alpha_2 / 2} \lambda. \quad (5)$$

Після того утворюємо третю систему інтерференційних смуг, що повернута на  $120^\circ$  відносно другої. При цьому третій пучок перекритий і відбувається інтерференція другого і першого пучків. Визначаємо доплерівську частоту  $v_3$  сигналу, що відповідає проекції швидкості на третій напрямок:

$$U_{\Gamma} = U_1 = \frac{v_3}{2n \sin \alpha_3 / 2} \lambda. \quad (6)$$

Для спрощення оптичної схеми і розрахунків при реалізації запропонованого методу кути між інтерферуючими пучками обираємо рівними:  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 120^\circ$ . Знаючи проекції швидкості на відповідні напрями, визначаємо величину і напрямок горизонтальної і вертикальної складових швидкості. Якщо виконується умова  $U_1 = |U_2 - U_3|$ , то:

$$\begin{cases} U_{\Gamma} = U_3 - U_2 \\ U = \frac{U_3 + U_2}{\sqrt{3}} \end{cases} \quad (7)$$

Якщо  $U_1 = U_2 + U_3$ , то

$$U_{\Gamma} = \begin{cases} U_2 + U_3 & \text{при } U_2 > U_3 \\ -(U_2 + U_3) & \text{при } U_2 < U_3 \end{cases} \quad (8)$$

$$U_{\text{В}} = \frac{|U_2 + U_3|}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

Визначивши вертикальну швидкість у випадку седиментації частинок грубодисперсної фази за допомогою формули Стокса, обчислюємо ефективний діаметр частинки:

$$D = \sqrt{\frac{18\eta U_{\text{В}}}{g(\rho - \rho_0)}} \quad (10)$$

Застосування комп'ютера дозволяє автоматизувати процес вимірювання параметрів частинок і обробки експериментальних результатів.

Таким чином, розглянутий метод лазерної доплерівської анемометрії розширює функціональні можливості вимірювань і забезпечує визначення вертикальної і горизонтальної складових швидкості в реальному часі з високою точністю.

І.Бунин Н.И., Морозов Н.В., Солодов В.В. Лазерный доплеровский интерферометр для контроля размеров, скорости и дзета-потенциала частиц примесей в сточных водах // Тез. докл. всесоюз. науч. конф. "Современные технические средства и методы контроля при охране окружающей среды". – Пенза, 1992. – С.16-18.

2.А.с. № 1804608 СССР, МКИ G01 N15/02. Способ определения скорости и размеров частиц в движущейся среде / Н.И.Бунин, Н.В.Морозов, В.В.Солодов. - № 494614/25, заявл. 17.06.91, опубл. 27.03.93, Бюл.№11.

Отримано 08.01.2002