

*М.П. Дивнич, к.т.н., В.А. Савранський
(Національний авіаційний університет, Україна)*

Оптический метод реестрации надмалых об'ємних деформаций

Розглядається оптичний метод реестрации над малих об'ємних деформаций. Цей метод заснований на використанні особливостей формування сигналу у лазерному доплерівському вимірювачі швидкості.

Підвищення чутливості та точності засобів вимірювальної техніки сприяє прогресу в багатьох галузях науки та техніки. Відомі оптичні прилади, що застосовуються в авіації під час дослідження моделей літальних апаратів у аеродинамічних трубах – лазерні доплерівські вимірювачі швидкості (ЛДВШ) [1].

В ЛДВШ диференціального типу область, в якій проводиться вимірювання швидкості потоку формується двома лазерними променями, що проходять різну дистанцію від джерела випромінювання. В зоні вимірювання відбувається інтерференція променів (рис.1).

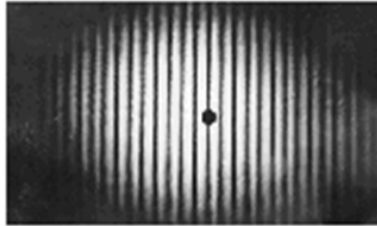


Рис. 1. Фотографія зони вимірювання ЛДВШ із мікрочастинкою.

На виході фотоприймача, в результаті оптико-електронного перетворення розсіяного мікрочастинками лазерного випромінювання, утворюється доплерівський сигнал (рис.2), що містить як постійну та змінну складові.

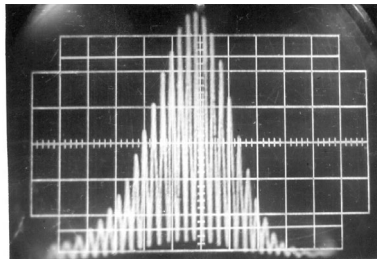


Рис.2. Фотографія осцилограми доплерівського сигналу на виході фотоприймача.

В процесі дослідження процесу формування сигналу ЛДВШ були встановлені наступні особливості його зміни [2]. Якщо прийом розсіяного

випромінювання здійснюється в межах кільця, то фаза доплерівського сигналу, може приймати тільки два значення 0^0 або 180^0 .

Проведені розрахунки параметрів доплерівського сигналу, які показали наступне. Так, на рис.3а представлена залежність фази сигналу $\varphi_d = f(\alpha)$ при прийомі випромінювання в межах вузького кільця $\Delta\alpha = 1'30''$ від величини апертурного кута α . На рис.3б зображені зони приймальної діафрагми при прийманні розсіяного випромінювання в межах яких доплерівський сигнал має фазу $\varphi_d = 0^0$ та $\varphi_d = 180^0$ (заштрихована область).

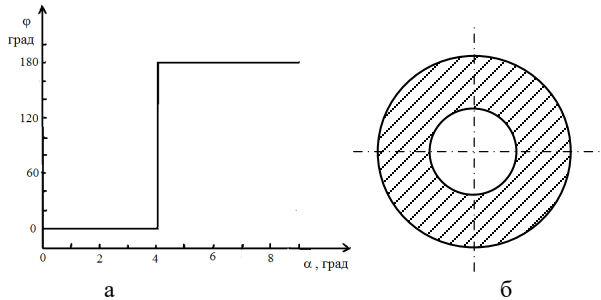


Рис.3. а - залежність $\varphi_d = f(\alpha)$ (а); б – зони діафрагми, прийом в межах в яких приводить до формування сигналів з протилежними фазами.

На характер зміни фази сигналу впливає діаметр мікрочастинки, та її оптичні властивості, що визначаються комплексним показником заломлення.

Це призводить до того, що при розсіянні на мікрочастинках певного діаметру доплерівські сигнали взаємно компенсуються та коефіцієнт глибини модуляції сумарного сигналу дорівнює нулю. Так, на рис.4 показана залежність коефіцієнта глибини модуляції сигналу від діаметру мікрочастинок полістиролу.

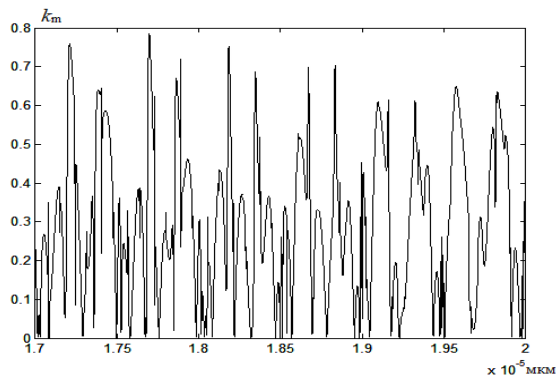


Рис. 4. Залежність коефіцієнта глибини модуляції доплерівського сигналу від діаметру мікрочастинок полістиролу $k_m = f(d)$.

Як видно з представленого графіку для деяких розмірів мікрочастинок коефіцієнт модуляції а отже і змінна складова сигналу на виході фотоприймача дорівнює нулю. Окрім цього спостерігається суттєва зміна глибини модуляції в залежності від діаметру мікрочастинок. Цей факт наочно підтверджується результатами розрахунків, що представлені на рис.5 та рис.6.

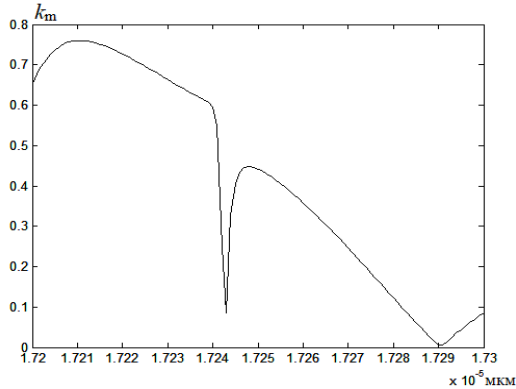


Рис.5 Залежність $k_m = f(d)$. Розрахунки проведені з кроком $\Delta d = 10$ нм.

Так, в діапазоні зміни розмірів від 17,2 до 17,3 мкм $\Delta d = 0,1$ мкм коефіцієнт модуляції змінюється від 0,75 до 0. Причому графік має два мінімуми.

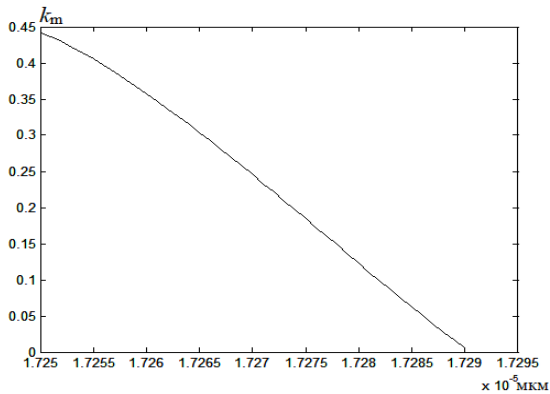


Рис.6 Залежність $k_m = f(d)$. Розрахунки проведені з кроком $\Delta d = 0,5$ нм.

Розрахунки з меншим кроком зміни діаметру $\Delta d = 0,5$ нм показали наступне. Зі збільшенням діаметру мікрочастинок від 17,250 мкм до 17,290 мкм ($\Delta d = 40$ нм) коефіцієнт глибини модуляції падає з $k_m = 0,44$ до нуля. Таким чином відношення $\Delta k_m / \Delta d$ дорівнює 0,11 на 10 нм. Якщо амплітуда доплерівського сигналу буде дорівнювати 1 В (при коефіцієнті глибини

модуляції $k_m = 1$), то будемо мати чутливість приладу до зміни діаметра мікрочастинки 110 мВ на 10 нм, або 11 мВ на 1 нм.

Таким чином таким методом можна реєструвати об'ємну деформацію у 1 нм.

Для практичної реалізації запропонованого методу потрібно:

1. Розмістити мікрочастинку у прозорій речовині, що має певні пружні властивості. Наприклад у кубіку зі скла, полікарбонату.

2. Для отримання доплерівського сигналу на виході фотоприймача потрібно один з лазерних променів зсунути за частотою.

3. Так як практично неможливо вибрати мікрочастинку такого діаметру, при розсіянні на якій коефіцієнт глибини модуляції буде дорівнювати нулю, то необхідно змінювати величину апертурної діафрагми, до того моменту коли $k_m = 0$. При такій кутовій апертурі буде відбуватися взаємна компенсація двох сигналів, що знаходяться у проті фазі. На рис.7 показано, що взаємна компенсація відбувається при апертурному куті $\alpha = 4^\circ$.

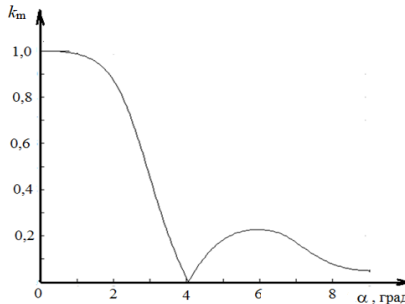


Рис.7. Залежність коефіцієнта глибини модуляції сигналу від апертурного кута, в якому збирається розсіяне випромінювання $k_m = f(\alpha)$.

Для цього у перехресті лазерних променів потрібно розташувати кубик, який виготовлений зі скла. Кубик повинен містити пухирець, що виконує функцію мікрочастинки. Пухирець може мати розмір від 10 до 100 мкм.

Такий оптичний прилад з кубиком зі скла може реєструвати зміну температури $\Delta T = 0,25 \cdot 10^{-3} K^0$ або зміну напруженості $\Delta E = 0,5 Па$. Він може застосовуватись для реєстрації зміни напруженості гірських порід з метою запобігання їх раптового викиду.

Список літератури

1. W. Merzkirch, D. Rockwell, C. Tropea Laser Doppler Anemometry for Fluid Dynamics/W. Merzkirch - Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2010.- 274 р.
2. Дивнич М.П., Дивнич В.М. Експериментальне дослідження лазерного доплерівського вимірювача швидкості/Вісник інженерної академії наук України - 2020. - №1. – С.55-59.

