

В.М. Землянський д.ф.-м.н., проф.,  
С.Г. Єгоров, старший викладач,  
О.П. Чудесов, асистент  
(Національний авіаційний університет, Україна, м. Київ)

## КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧНІ ДАТЧИКИ

*Проаналізована залежність якості сигналів когерентно-оптичних датчиків від когерентності лазерних пучків та їх амплітудної і поляризаційної узгодженості*

Когерентно-оптичні датчики застосовують для дослідження продуктів згоряння палива у енергетичній системі автомобілів.

Якість сигналу в когерентно-оптичних датчиках (КОД), які використовують доплерівський ефект зрушення частоти і побудовані на підставі диференційної схеми, залежить від просторової та часової когерентності лазерних пучків та їх амплітудної і поляризаційної узгодженості, що впливає на контраст інтерференційного поля зони вимірювання і далі на якість модуляції сигналу на виході фотоприймача, що впливає на амплітуду сигналу на виході частотного фільтру і методичної похибки вимірювання дисперсного розподілу мікрочастинок, які досліджують в середовищі. Тому формування схеми КОД та її юстування повинно забезпечувати узгодженість амплітуди, поляризації та когерентності лазерних пучків.

Якщо при перетинанні двох монохроматичних лазерних пучків з однаковими частотами та коефіцієнтами амплітудного, поляризаційного та фазового узгодження  $K_p=K_a=K_\gamma=1$ , в зоні перетинання утворюється інтерференційна картина

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\delta),$$

яка при збіганні фаз  $\delta = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$  в точках перетину буде мати максимальну інтенсивність  $I = 4I_1$ , а якщо фази протилежні  $\delta = \pi, 3\pi, \dots$  то інтенсивність в точках перетину пучків дорівнює  $I = 0$ , в цьому випадку лазерні пучки когерентні. Якщо між фазами двох лазерних пучків немає ніякого співвідношення і вони змінюються випадково в межах часу спостереження інтенсивностей, то середнє часове значення спостереження буде наближатися до нуля і інтенсивність пучків не змінюється, вони не інтерферують і, відповідно, вони не когерентні. Інтенсивність в зоні перетину пучків буде дорівнювати  $I = I_1 + I_2$ .

На практиці частіше зустрічається проміжний випадок, який представлено на рис.1, коли максимальна інтенсивність випромінювання у інтерференційній картині змінюється в межах від  $(I_1 + I_2)$  до  $4I_1$ . Модель інтерференційної картини в цьому випадку

$$I = I_1 + I_2 + \gamma 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\delta),$$

де  $\gamma \leq 1$  є мірою ступеня когерентності.



### Схеми експериментального одержання когерентних пучків

Двопроменевопереломлення дає можливість одержання двох когерентних лазерних пучків. Для цих цілей на двопроменевопереломлюючий кристал направляють поляризований, з азимутом  $\alpha = 45^\circ$  до осі кристала, монохроматичний лазерний пучок, що розщеплюється на два однакових по інтенсивності пучка з ортогональними станами поляризації, на шляху поширення одного з пучків встановлюється фазова пластинка  $\lambda/2$ , з можливістю зміни стану поляризації пучка на ортогональне.

1. Схеми оптичного пристрою представлена на рис. 2.

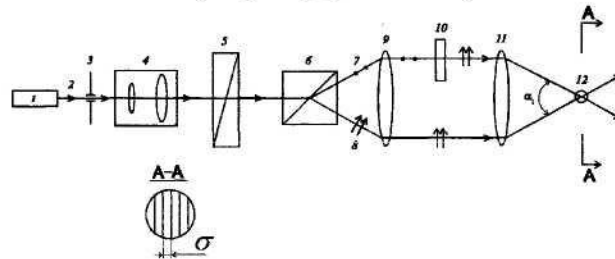


Рис. 2. Монохроматичне джерело неполяризованого випромінювання

Схема працює таким чином: джерело випромінювання 1 випромінює пучок неполяризованого випромінювання 2, що проходить діафрагму 3, коліматор 4, поляризатор 5 з азимутом  $\alpha = 45^\circ$  і падає на призму Волластона 6, на виході якої пучки 7 і 8 мають однакову інтенсивність з ортогональним станом поляризації, при проходженні фазової пластинки  $\lambda/2$  пучок 7 змінює стан поляризації на ортогональне, при цьому стани поляризації пучків стають погодженими. Лінзи 9 і 11 забезпечують формування зони перетинання пучків 12, що являє собою просторову інтерференційну область, інтерференційний період  $\sigma$  якої показаний у перетині  $A-A$ , та визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{\lambda}{2 \sin(\gamma/2)}$$

Якщо фазову пластинку 10 забрати, то інтерференційна картина відсутня - два розщеплених пучки з лінійними взаємоортогональними поляризаціями - некогерентні.

2. Схема одержання когерентних пучків за допомогою дифракційних прозорих симетричних ґрат представлена на рис. 3.

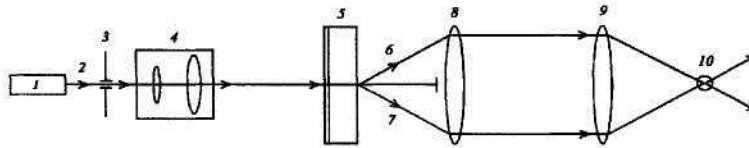


Рис. 3 Джерело монохроматичного випромінювання

У зоні перетинання пучків 6 і 7 утвориться інтерференційна область. Якщо на шляху одного з пучків розмістити кювету з оптично активним середовищем 11, що повертає площину поляризації на  $90^\circ$ , у цьому випадку інтерференція пучків відсутня і в області перетинання отримані некогерентні пучки (рис.4)

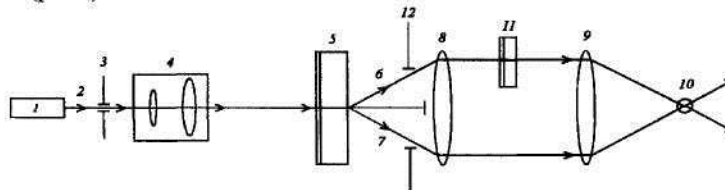


Рис. 4. Джерело монохроматичного випромінювання

Якщо оптично активне середовище повертає площину поляризації на  $180^\circ$  (наприклад, використовується магнітооптичний ефект, у якому  $H$  - напруженість магнітного поля збільшили в два рази), то інтерференція знову з'являється, але її період зміститься на  $\sigma/2$  (півперіода).

Якщо на шляху одного з когерентних пучків (рис.5) розмістити фазову пластинку  $\lambda/2$ , то інтерференція не спостерігається, тому що отримані лінійні ортогональні стани поляризації, які не забезпечують формування інтерференційної картини.

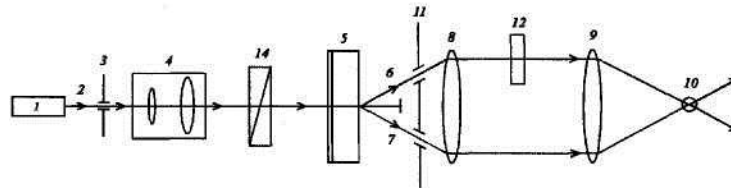


Рис. 5. Джерело монохроматичного випромінювання

Якщо інтерференційну картину спостерігати через поляризатор 14, то формується інтерференційний період  $\sigma$ , який при азимутах поляризатора  $\alpha$  й  $\alpha + 90^\circ$  буде зміщений на  $\sigma/2$ .

**Схема експериментального одержання двох когерентних пучків різної частоти.**

Схема одержання інтерференційного поля, що має зсув частоти, представлена на рис.6.

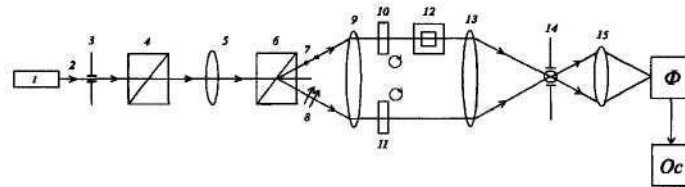


Рис. 6.

При обертанні пластинки  $\lambda/2$  з частотою  $\Omega_m$  у зоні перетинання пучків утворюється інтерференційна картина, що має частотний зсув. Перед фотоприймачем  $\Phi$  установлена щілинна діафрагма 14 шириною  $d = \sigma/2$  з можливістю виділення інтенсивності половини інтерференційного періоду на фотоприймачі. При частотному зсуві інтерференційної картини на виході фотоприймача утворюється частотно модульований сигнал, що аналізується осцилографом - Ос. Для підвищення точності визначення контрасту інтерференційного поля у кожній точці замість діафрагми 14 в зоні вимірювання розташовують сферичну еталонну мікрочастинку [2].

На рис.7 приведена фотографія гармонійної зміни інтенсивності в інтерференційній зоні для випадку  $\gamma = 1$ .

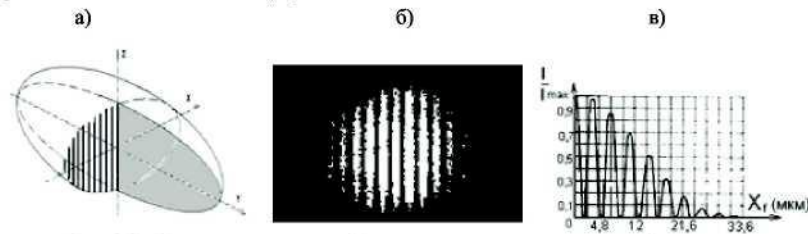


Рис. 7 а) Формування зони вимірювання при перетинання пучків;  
б) фотографія гармонійної зміни інтерференційної картини, коли ступень когерентності  $\gamma = 1$ ; в) результати розрахунку інтенсивності уздовж осі ОХ, коли ступень когерентності  $\gamma = 1$ .

**Висновки**

При формуванні зон вимірювання КОД монохроматичними пучками з коефіцієнтами амплітудного і поляризаційного узгодження  $K_p = K_a = 1$  контраст інтерференційного поля визначається розподілом когерентності пучків випромінювання та юстировкою схеми одержання інтерференційного поля.