

УДК 543.275.3

- © В.М. Землянський, докт. фіз.-мат. наук, професор,
- © С.Г. Єгоров, доцент (НАУ),
- © В.П. Терещенко,
- © О.П. Чудесов (ДП “ДержавтотрансНДІпроект”)

## ФОРМУВАННЯ СХЕМ КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА

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

**Ключові слова:** когерентно-оптичні датчики, інтерференція, схеми.

**Аннотация.** Проанализирована зависимость качества сигналов когерентно-оптических датчиков от когерентности лазерных пучков и их амплитудной и поляризационной согласованности.

**Ключевые слова:** когерентно-оптические датчики, интерференция, схемы.

**Annotation.** In analyzing the dependence of the quality of the signals coherently - optical sensors on the coherence of the laser beams and their amplitude and polarization alignment.

**Keywords:** coherent optical sensors, interference, circuit.

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

Якість сигналу в когерентно-оптичних датчиках (далі – КОД), які використовують доплерівський ефект зрушення частоти і побудовані на підставі диференційної схеми, залежить від просторової та часової когерентності лазерних пучків та їх амплітудної та поляризаційної узгодженості. Це 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 перетині двох монохроматичних лазерних пучків з однаковими частотами та коефіцієнтами амплітудного, поляризаційного та фазового узгодження  $K_p=K_a=K_\gamma=1$  в зоні перетину 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 жодного співвідношення і вони змінюються випадково в межах часу спостереження інтенсивностей, то середнє часове значення спостереження буде наближатися до нуля й інтенсивність пучків не змінюватиметься, вони не інтерферують і, відповідно, вони не когерентні. Інтенсивність у 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.

Якщо зазначати максимальну або мінімальну інтенсивність в інтерференційній картині (інтенсивність інтерференційних смуг), то при однаковій інтенсивності лазерних пучків  $I_1 = I_2$

$$I_{\max} = 2I_1(1 + \gamma), \quad I_{\min} = 2I_1(1 - \gamma).$$

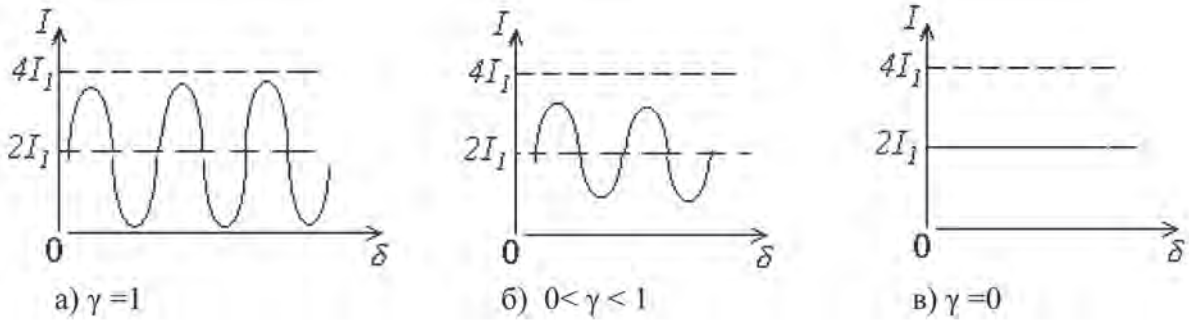


Рис. 1. Контраст інтерференційних смуг залежно від ступеня когерентності  $\gamma$

Контраст інтерференційних смуг  $V$  можна визначити за формулою

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\min} + I_{\min}} = \gamma,$$

який в цьому випадку (при  $I_1 = I_2$ ) дорівнює ступеню когерентності лазерних пучків  $\gamma$  (просторової та часової когерентності випромінювання).

#### Схеми експериментального одержання когерентних пучків

Двопроменеве переломлення дає можливість одержання двох когерентних лазерних пучків. Для цих цілей на двоприменово переломлюючий кристал направляють поляризований, з азимутом  $\alpha = 45^\circ$  до осі кристала, монохроматичний лазерний пучок, що розщеплюється на два однакових за інтенсивністю пучки з ортогональними станами поляризації. На шляху поширення одного з пучків встановлюється фазова пластинка  $\lambda/2$ , з можливістю зміни стану поляризації пучка на ортогональний. Схема оптичного пристрою представлена на рис. 2.

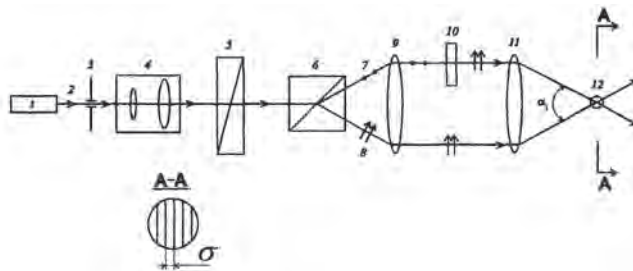


Рис. 2. Монохроматичне джерело неполяризованого випромінювання – 1, пучок випромінювання – 2, діафрагма – 3, коліматор – 4, поляризатор – 5, призма Воластона – 6, пучки випромінювання з ортогональним станом поляризації – 7 і 8, лінзи – 9 і 11, фазова пластинка  $\lambda/2$  – 10, зона перетину пучків – 12

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 Воластона 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 ортогональний, при цьому стани поляризації пучків стають погодженими. Лінзи 9 і 11 забезпечують формування зони перетину пучків 12, що є просторовою інтерференційною областю, інтерференційний період –  $\sigma$  якої показаний у перетині А-А та визначається за виразом:

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

Якщо фазову пластинку 10 забрати, то інтерференційна картина відсутня, два розщеплених пучки з лінійними взаємоортогональними поляризаціями – некогерентні. Схема одержання когерентних пучків за допомогою дифракційних прозорих симетричних ґрат представлена на рис. 3.

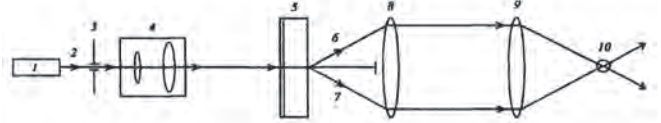


Рис. 3. Джерело монохроматичного випромінювання – 1, пучок випромінювання – 2, діафрагма – 3, коліматор – 4, дифракційні ґрати – 5, два когерентних пучки – 6 і 7, об'єктиви – 8 і 9, зона перетину пучків – 10

У зоні перетину 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 перетину отримані некогерентні пучки (рис. 4)

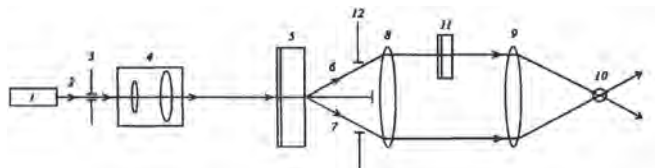
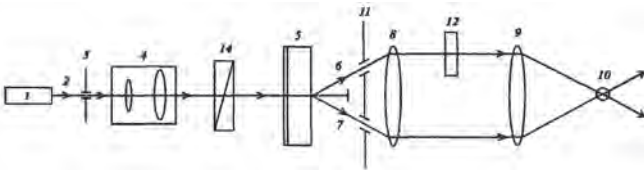


Рис. 4. Джерело монохроматичного випромінювання – 1, пучок випромінювання – 2, діафрагма – 3, коліматор – 4, дифракційні ґрати – 5, два когерентних пучки – 6 і 7, об'єктиви – 8 і 9, зона перетину пучків – 10, кювета з оптично активним середовищем – 11, апертурна діафрагма – 12



Якщо оптично активне середовище повертає площину поляризації на  $180^\circ$  (наприклад, використовується магнітооптичний ефект, у якому  $H$  – напруження 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 не забезпечують формування інтерференційної картини.

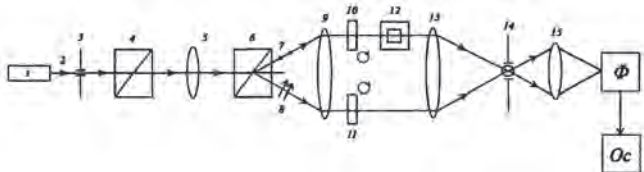


**Рис. 5.** Джерело монохроматичного випромінювання – 1, пучок випромінювання – 2, діафрагма – 3, коліматор – 4, дифракційні ґрати – 5, два когерентних пучки – 6 і 7, об'єктиви – 8 і 9, зона перетину пучків – 10, діафрагма – 11, фазова пластинка  $\lambda/2$  – 12, поляризатор – 14

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

#### Схема експериментального одержання двох когерентних пучків різної частоти

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

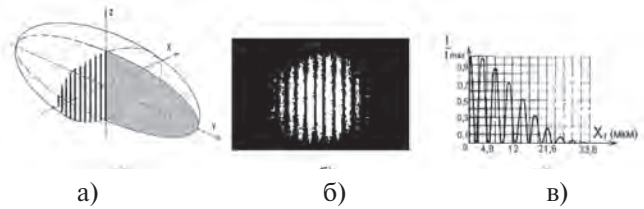


**Рис. 6.** Лазер – 1, пучок випромінювання – 2, діафрагма – 3, поляризатор – 4, лінза – 5, призма Воластона – 6, пучки з ортогональними лінійними станами поляризації – 7 і 8, формуючі об'єктиви – 9, 13 і 15, пластинки  $\lambda/4$  – 10 і 11, пластинка  $\lambda/2$  (обертається з круговою частотою  $\Omega_m$ ) – 12, щілинна діафрагма – 14

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

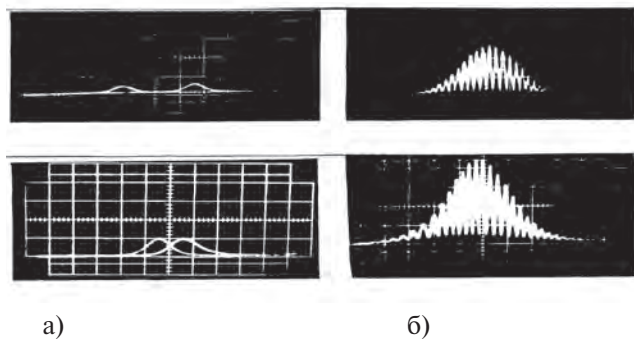
діафрагми 14 в зоні вимірювання розташовують сферичну мікрочастинку [2].

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



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

На рис. 8 представлені фотографії амплітуди сигналів на виході фотоприймача, що експериментально отримані від мікрочастинок, які проходять зону вимірювання (рис. 7-б) з одним зондувальним пучком (рис. 8-а) та двома зондувальними пучками (рис. 8-б). Визначається зростання чутливості схеми.



**Рис. 8.** Сигнали від мікрочастинок, що проходять зону вимірювання: а) з одним зондувальним лазерним пучком; б) з двома когерентними зондувальними пучками

#### Висновки

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

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Землянський В.М. Измерение скорости потоков лазерным доплеровским методом (расчет параметров доплеровского сигнала ЛДА с учетом поляризационно-фазовых эффектов рассеяния). – К: Вища школа, 1987. – 177 с.
2. Декларацийний патент на винахід. Україна № 42215 А МКИ G01 J 9/00 “Вимірювач ступеню часової когерентності лазерного випромінювання”. Землянський В.М., Чудесов О.П., № 2000116599 від 22.11.2000, Бюл. №9, друк. 15.10.2001.