

Grzegorz KOWALEWSKI

Instytut Maszyn Przepływowych
Politechniki Łódzkiej

METODY FOTOOPTYCZNE W BADANIACH PRZEPŁYWÓW DWUFAZOWYCH

Streszczenie: Podano krótki przegląd i przykłady własnych zastosowań takich metod, jak rejestracja fotograficzna i filmowa oraz holografia w zastosowaniu do badania struktury czynnika i parametrów przepływów dwufazowych.

W eksperymentalnych badaniach przepływów bardzo pożądanymi są tzw. metody bezkontaktowe - nie zakłócające przepływu. Warunek ten spełniają m. in. metody optyczne i fotooptyczne.

Przez pojęcie metod fotooptycznych autor rozumie metody, w których nośnikiem informacji są fale elektromagnetyczne z zakresu widzialnego (lub przetwarzane na zakres widzialny), umożliwiające rejestrację obrazu badanego obiektu lub zjawisk i procesów w nim zachodzących.

Przepływy wielofazowe są szczególnie wdzięcznym obiektem badań metodami fotooptycznymi, ponieważ na ogół nie wymagają stosowania żadnych urządzeń wizualizujących przepływ ze względu na obecność dwóch (lub więcej) faz różniących się własnościami optycznymi takimi, jak: zdolność odbijania, załamывania, rozpraszania lub pochłaniania światła. Na marginesie warto zaznaczyć, że w tzw. hydraulicznych metodach wizualizacji przepływów wykorzystywane są właśnie czynniki wielofazowe poprzez wprowadzanie do czynnika podstawowego zabarwionych cieczy, dymów, pęcherzyków gazowych, zawiesiny ciała stałego itp.

Podstawowym warunkiem umożliwiającym zastosowanie metod optycznych i fotooptycznych jest "przezroczystość" dla użytego zakresu widma zarówno ścian kanałów przepływowych (lub wizjerów), jak i czynnika podstawowego. Poziom koncentracji czynnika pochłaniającego lub rozpraszającego promieniowanie limituje głębokość penetracji przepływu przy takich badaniach. W skrajnym przypadku możliwa jest tylko obserwacja warstwy powierzchniowej lub przysściennej. Za czynniki pochłaniające i rozpraszające światło należy uznać również czynniki przezroczyste, o ile występują w przepływie w fazie rozproszonej w postaci pęcherzy, kropeł czy pyłów.

W badaniach przepływów dwufazowych metody fotooptyczne wykorzystywane są głównie do określania parametrów struktury czynnika i parametrów

przepływu takich, jak: forma powierzchni rozdziału czynników lub koncentracja fazy rozproszonej, kształt i wielkość cząstek fazy rozproszonej i ich rozkład w przekroju strugi oraz tory i prędkości cząstek fazy rozproszonej.

W zależności od charakteru przepływu i obiektu oraz celu badań można brać pod uwagę szereg metod i technik fotooptycznych, które ogólnie można podzielić na fotograficzne, filmowe i holograficzne. Niezależnie od zastosowanej techniki najważniejszą sprawą jest oświetlenie obiektu badań (sposób, rodzaj i intensywność) dostosowane do konkretnego przypadku. Rozróżnić tu można na przykład pod względem sposobu oświetlenia: światło przechodzące lub odbite, skupione lub rozproszone, z jednego lub z kilku kierunków itd. Pod względem rodzaju: ciągłe, błyskowe lub stroboskopowe, białe lub monochromatyczne, spolaryzowane lub niespolaryzowane itp. Intensywność oświetlenia musi być dostosowana do czułości użytych materiałów światłoczułych lub detektorów, co nie zawsze jest bezproblemowe.

Rejestracja fotograficzna

Rejestracja fotograficzna polega na odwzorowaniu optycznym obrazu będącego rzutem środkowym obiektu na powierzchnię materiału światłoczułego.

Głównymi użytkowymi parametrami rejestracji fotograficznej są: czas ekspozycji i skala odwzorowania. W interesujących nas zagadnieniach czas ekspozycji jest bardzo istotny i zależny od prędkości i badanego parametru przepływu. Ogólnie: krótkie czasy ekspozycji są wymagane np. przy badaniach struktury czynnika fazy rozproszonej, natomiast długie przy rejestracji torów cząstek.

Skala odwzorowania, która jest stosunkiem wielkości obrazu do wielkości obiektu, dobierana jest z jednej strony pod kątem żądanej rozdzielczości obrazu, a z drugiej pod kątem maksymalizacji pola widzenia. Ze skalą odwzorowania wiąże się jeszcze wielkość (odwrotnie proporcjonalnie) tzw. głębi ostrości, zatem czasem dla uzyskania większej głębi ostrości kosztem obniżenia rozdzielczości obrazu zmniejsza się skalę odwzorowania.

Dla zilustrowania rzędu wielkości użytkowych parametrów rejestracji fotograficznej posłużmy się przykładem :

Jakich czasów ekspozycji i skal odwzorowania należy użyć przy rejestracji:

- a) struktury czynnika fazy rozproszonej,
- b) torów cząstek

dla prędkości przepływu ok. 10 m/s, wymiaru średnich cząstek $50 \mu\text{m}$, na najmniejszych $10 \mu\text{m}$ i rozdzielczości materiału światłoczułego ok. 100 linii/mm?

a. Zakładamy, że wystarczającą jakością obrazu uzyskamy, jeżeli średnia cząstka będzie "rozmażana" o max 10%, tzn. dopuszczalne przesunięcie w czasie ekspozycji wyniesie $5 \mu\text{m}$ (połowa wymiaru cząstki minimalnej!).

Stąd czas ekspozycji przy rejestracji struktury czynnika może wynosić max $0,5 \mu\text{s}$. Zakładając, że obraz minimalnej cząstki powinien co najmniej pięciokrotnie przewyższać wymiar najmniejszego zauważalnego elementu (dla 100 l/mm jest to $10 \mu\text{m}$) skala odwzorowania powinna wynosić min 5 : 1. Dla powiększenia 5x głębia ostrości wynosi $0,2 + 0,4 \text{ mm}$ (w zależności od ogniskowej i przysłony obiektywu) i pole widzenia (aparatu małoobrazkowego) $4,8 \times 7,2 \text{ mm}$.

b. Przy założeniu, że tory większych cząstek będą jeszcze widoczne przy przemieszczeniu się w czasie ekspozycji o dwadzieścia wymiarów średniej cząstki (co daje 1 mm), czas ekspozycji powinien wynosić ok. $100 \mu\text{s}$. Wymiar obrazu średniej cząstki powinien co najmniej pięciokrotnie przewyższać wymiar najmniejszego zauważalnego elementu, co daje skale odwzorowania równą 1 : 1, stąd pole widzenia $24 \times 36 \text{ mm}$ i głębia ostrości rzędu $2 + 4 \text{ mm}$.

Z przytoczonego przykładu wynika, że już dla średnich prędkości przepływu rejestracja fotograficzna nie może się odbywać przy standardowych czasach ekspozycji (wynoszących min. ok. $0,001 \text{ s}$), o ile wymagana skala odwzorowania jest większa od jedności i trzeba się wtedy uciekać do stosowania specjalnych błyskowych źródeł światła o odpowiednio krótkim czasie błysku. Dla mniejszych prędkości przepływu i mniejszych skal odwzorowania wystarczające są czasy ekspozycji migawki aparatu fotograficznego lub standardowej lampy błyskowej.

Obok typowej rejestracji fotograficznej w niektórych przypadkach stosowane są techniki specjalne takie, jak: stereoskopia, fotografia dwu- i wieloekspozycyjna, fotografia przy zastosowaniu specjalnych systemów oświetlenia lub z wykorzystaniem poza optycznych zakresów promieniowania i wiele innych.

Rejestracja filmowa

Rejestracja filmowa jest zwielokrotnioną rejestracją fotograficzną wykonywaną z określoną częstością. Daje to w efekcie możliwość określenia dodatkowej współrzędnej - czasu. Współczesne techniki filmowe pozwalają na znaczne rozciąganie skali czasu, tzn. na filmowanie z częstościami aż do setek megaherców. Rejestracja filmowa jest niezastąpiona przy śledzeniu wszelkich procesów zmiennych w czasie takich, jak przepływy nieustalone lub jednorazowe (np. sztuczna generacja kawitacji).

Mając na uwadze zacytowany wcześniej przykład widzimy, że dla wysokich prędkości przepływu (zakładając filmowanie z nieruchomego stanowiska - w układzie bezwzględny) dopiero najwyższe częstości rejestracji filmowej mogłyby umożliwić dokładne śledzenie np. struktury fazy rozproszonej w przepływie. Filmowanie z wysokimi częstościami jest jednak poważnym problemem technicznym (szczególnie ze względu na konieczność stosowania bardzo intensywnego oświetlenia) i dlatego bardzo często zastępuje się je "próbkowaniem" fotograficznym lub filmowaniem w układzie względny, co umożliwia obniżenie częstości rejestracji o kilka rzędów.

Rejestracja holograficzna

Holografia jest całkowicie odmienną od opisanych poprzednio techniką rejestracji obrazu. Obraz holograficzny jest wierną trójwymiarową kopią obiektu rzeczywistego, dlatego też pojęcia takie jak pole widzenia, skala odwzorowania czy głębia ostrości mogą wystąpić dopiero przy wtórnej rejestracji fotograficznej odtwarzanego obrazu holograficznego. Obraz holograficzny może być oglądany, fotografowany, analizowany i poddawany dalszej obróbce optycznej tak jak obiekt rzeczywisty. Może być również porównywany z obiektem rzeczywistym lub z innymi obrazami holograficznymi tego samego (lub podobnego) obiektu, zarejestrowanymi w innym czasie.

Nawiązując do zacytowanego przykładu można stwierdzić, że hologram obiektu o objętości np. 1 dm^3 możemy penetrować wizualnie, fotograficznie czy np. kamerą telewizyjną we wszystkich kierunkach, przy dowolnej skali odwzorowania i określać np. strukturę czynnika fazy rozproszonej z chwilowego całego obrazu przepływu zarejestrowanego na hologramie.

Współczesne techniki holograficzne umożliwiają uzyskanie "zamrożonych" obrazów obiektów poruszających się z prędkościami nawet naddźwiękowymi jak również na rejestrację typu filmowego z częstością rzędu kilkadziesiąt kiloherców.

W Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej wykonywanych jest wiele prac z zastosowaniem metod fotooptycznych. Szereg z nich dotyczy przepływów dwufazowych z takich dziedzin, jak: rozpylanie cieczy, fluidyzacja, przepływy w urządzeniach przemysłu włókienniczego i papierniczego, odpylanie powietrza i wiele innych.

Ciekawsze przykłady takich zastosowań zostaną zaprezentowane i omówione na Konferencji.

Literatura

- [1] "Holografia optyczna" pod redakcją M. Pluty, PWN, Warszawa 1980.
- [2] "Flow Visualization II" materiały konferencyjne pod red. W. Merzkircha Hemisphere Publ. Co. 1980.
- [3] "XV International Congress on High Speed Photography and Photonics" materiały konferencyjne pod red. L. Endelman'a SPIE 348 San Diego 1982.
- [4] G. Kowalewski, E. Starski: Film naukowy "Holografia", WFO, Łódź 1979.
- [5] G. Kowalewski; "Użyteczność holografii w badaniach procesów transportu ciepła i masy". Referaty sympozjum wymiany ciepła i masy. Jabłonna 1983.
- [6] G. Kowalewski, E. Starski: Filmy Naukowe "Fluidyzacja dużych cząstek" IMPPL 1979, "Skrajnie płytkie złożo fluidalne" ITCiChPL 1983, "Opływ czułki sondy do pomiaru prędkości masy papierniczej" IMPPL 1984.
- [7] "Doskonalenie metod i urządzeń do badań transportu masy i energii z uwzględnieniem warunków niestacjonarnych". Oprac. wewn. IMP PL nr arch. IMP 788/81, 823/82, 845/83.

ФОТООПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ
ДВУХФАЗНЫХ ПРОТОКОВ

Р е з ю м е

Представлено короткий пересмотр и собственные примеры применения таких методов как: фотографическая, пленочная и голографическая регистрация в исследованиях параметров двухфазных протоков.

THE PHOTO-OPTICAL METHODS IN THE INVESTIGATIONS
OF TWO-PHASE FLOWS

S u m m a r y

The paper presents a short review of the use of photo, film and holographic methods for the investigations of two-phase flow parameters, including examples.