

А.Т., Самородов В.Б. и др. – Харьков.: ХГАДТУ, 2001. – 642 с. 4. *Бейзельман Р.Д., Цыпкин Б.В., Перель А.А.* Подшипники качения: Справочник. – М.: Машиностроение. – 1975. – 572 с. 5. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1970. – 904с. 6. Объемные гидравлические привода / *Т.М. Баишта, И.З. Зайченко, В.А. Ермаков* и др. – М.: Машиностроение, 1969. – 627 с.
Поступила в редколлегию 22.05.02

УДК 539.3

Н.А.АНДРЕЄВА, НАУ України, Київ

ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГРАНИЧНОГО ШАРУ НА ОБТІЧНІЙ ПОВЕРХНІ МЕТОДОМ ТЕРМОПАРНОГО ТЕРМОАНЕМОМЕТРА

Подані результати теоретичних і експериментальних досліджень стану граничного шару на обтічних поверхнях на основі термопарного термоанемометра (ТТА) – вимірювача малих швидкостей потоку рідини і газу. Експериментально обґрунтована можливість використання ТТА як індикатора переходу ламінарної течії в турбулентну і фіксації відриву граничного шару, а також використання ТТА як індикатора відриву граничного шару на несучих поверхнях літального апарату (ЛА).

При русі тіл у повітрі чи рідині, наприклад при русі ЛА, відбувається взаємодія тіл з потоком, який обтікає, що впливає на рух цих тіл. Результатом силової взаємодії тіла з потоком є також зміна фізичних характеристик потоку, основною з яких є швидкість (v). Тому серед гідроаеродинамічних досліджень одне з головних місць займають дослідження і розробка методів визначення швидкості потоку, що обтікає тіло. Цей параметр (v) входить практично в усі формули аеродинаміки.

Існує безліч різних методів і засобів виміру швидкості потоку в залежності від умов виміру. Для виміру пульсаційних швидкостей ізотермічних потоків найбільше застосування одержав метод термоанемометра. І в даний час існують різні типи датчиків термоанемометра в залежності від розв'язуваних задач. Принцип роботи цих датчиків полягає у взаємодії їх з потоком, в результаті якого в залежності від швидкості омиваючого датчик потоку, з датчика термоанемометра відбирається певна кількість теплоти, що приводить до зміни тих чи інших параметрів електричного кола датчика [1,2,3].

Метод виміру швидкості потоку рідини чи газу на основі термопарного термоанемометра (ТТА) [4] має ряд переваг над існуючими методами, що дозволяє розширити коло задач, зв'язаних з визначенням швидкості. Цими перевагами є: механічна міцність, малі розміри, проста конструкція, мала інерційність, що дозволяє використовувати ТТА для розв'язку задач, що неможливо розв'язати за допомогою інших методів і засобів, чи розв'язок є дуже складним. А саме:

– вимір швидкості не тільки в потоках газу чи рідини, а також на натур-

них об'єктах;

– вимір швидкості в малому об'ємі потоку, тобто в «точці», що підвищує точність вимірів;

– виготовити датчик ТТА можна в звичайній лабораторії методом контактного зварювання;

– забезпечується можливість вимірів пульсацій швидкості з великою точністю.

Насадок ТТА являє собою чотири провідники, зварених на одному кінці. Два з них призначені для підведення струму, що нагріває насадок, два інших є одним кінцем вимірювальної термопари. Другий кінець термопари міститься в середовищі з постійною температурою (термостатується). Так як провідники, що зварюються різнорідні, то в насадці відбувається виділення не тільки теплоти Джоуля (Q_d), але і теплоти ефекту Пельтьє ($Q_{пе}$). Внаслідок чого в колі вимірювальної термопари виникає термоедс (E_T). При зануренні вимірювальної голівки ТТА в потік відбувається її теплообмін з потоком, внаслідок чого змінюється E_T . Чим більше швидкість v потоку, що набігає, тим більше ця зміна, тобто E_T є функцією швидкості потоку, що набігає.

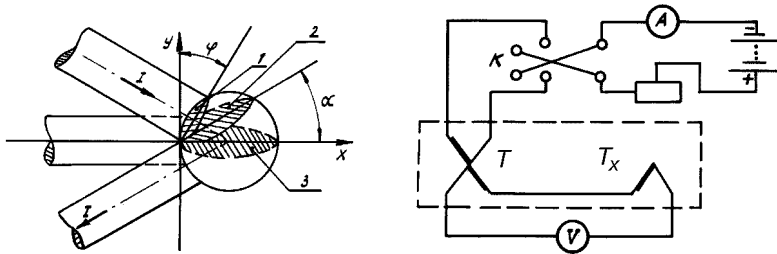


Рис.1. Вимірювальна голівка ТТА і схема електричного кола приладу:

а) – схематичне положення датчика в потоці, що рухається зі швидкістю v (v_x і v_y – компоненти швидкості потоку); б) – електрична схема приладу (T і T_x – відповідно температури термопари в потоці і холодного спаю); в) – тарувальний графік: залежність термоедс E_T , приладу від швидкості потоку v , що набігає.

ТТА може працювати в двох режимах: при постійному струмі нагрівання (як прямому, так і зворотньому); при постійній температурі насадка.

На основі теоретичних досліджень фізичних процесів і явищ, що відбуваються в датчику і при його теплообміні з потоком, була одержана математична залежність $E_T = f(v)$ у наступному вигляді:

$$E_T = \frac{A - B\sqrt{v}}{C\sqrt{v} - D},$$

де A, B, C, D – коефіцієнти, що залежать від параметрів потоку (v), режиму роботи датчика (I – сила струму нагрівання), геометричних розмірів датчика (D_T – діаметр голівки датчика d – діаметр провідників, що зварюються), тобто

$$E_T = f(v, I, D_T, T).$$

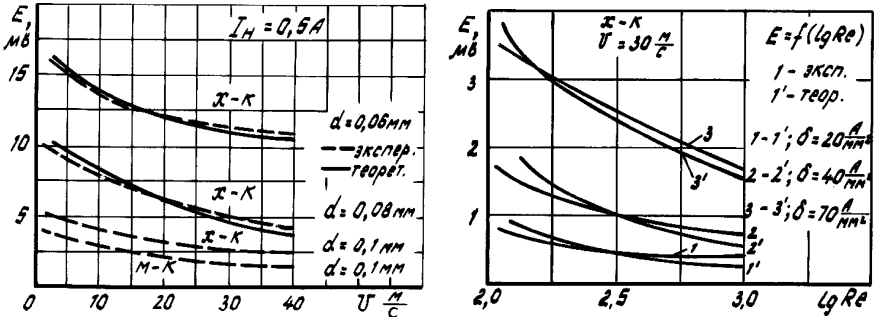


Рис.2. Графічні залежності $E_T = f(v)$:

- а) – $E_T(v)$ при різних діаметрах провідників, що зварюються, для різних матеріалів (x-к – хромель-копель, м-к – мідь-константан); б) – $E_T(v)$ при різних значеннях густини струму нагрівання δ ; в) – $E_T(v)$ для різних головок датчика.

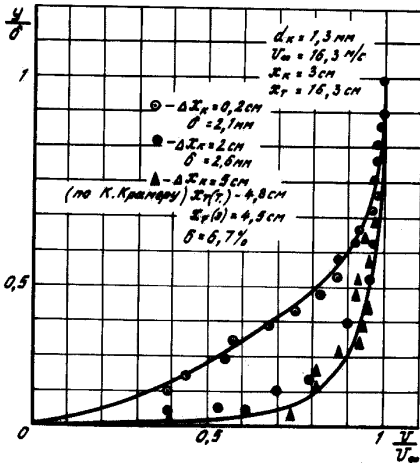


Рис.3. Залежність відносної швидкості потоку повітря в граничному шарі від відносної висоти над поверхнею пластини – $v/v_\infty = f(y/\delta)$ для різних значень x [5].

v – швидкість потоку в даній точці ГШ; v_∞ – швидкість потоку, що набігає; y – координата точки виміру швидкості (по висоті); δ – товщина ГШ в точці виміру швидкості; x – координата виміру v (відраховується від передньої точки пластини).

З метою з'ясування оптимального режиму роботи ТТА та його чутливості до зміни швидкості потоку були проведені експериментальні параметричні дослідження залежності $E_T = f(v)$. На рис.2. представлено результати цих досліджень.

Результати, що представлені у дослідженні дозволяють зробити такий висновок: так як залежність $E_T = f(v)$ була одержана при ідеалізації як форми головки датчика, так і процесів, що відбуваються в ній, очікувати повної відповідності між теоретичними й експериментальними залежностями не можна. Необхідно тарувати кожен конкретний датчик. Аналогічні властивості мають і термоанемометри з нагрітою ниткою.

Для дослідження чутливості датчика до зміни параметрів потоку і самого датчика була одержана і досліджена математична модель ТТА у вигляді простої математичної моделі поліноміального виду:

$$E_T = A_0 + A_1 v + A_2 I + A_3 D_T + A_4 T_B,$$

де A_0, A_1, \dots, A_4 – постійні вели-

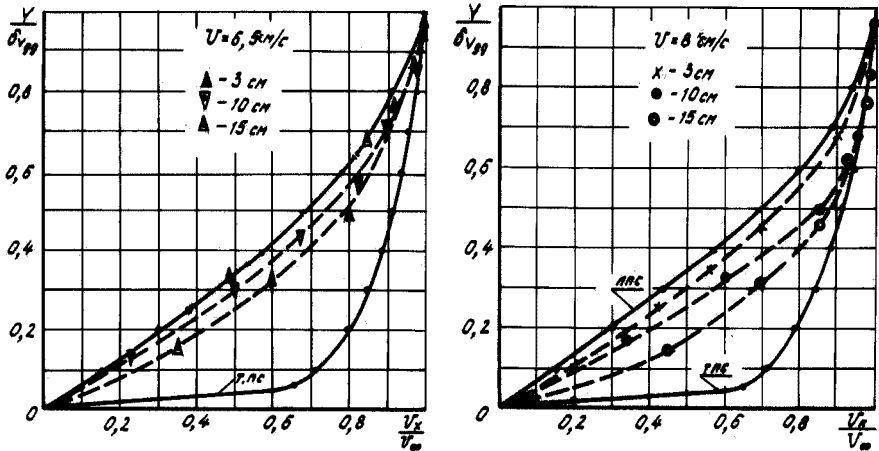


Рис. 4. Залежність відносної швидкості потоку води в ГШ від відносної висоти над поверхню пластини для різних значень x .

Відхилення експериментальних залежностей від теоретичних склала $5 \div 15 \%$.

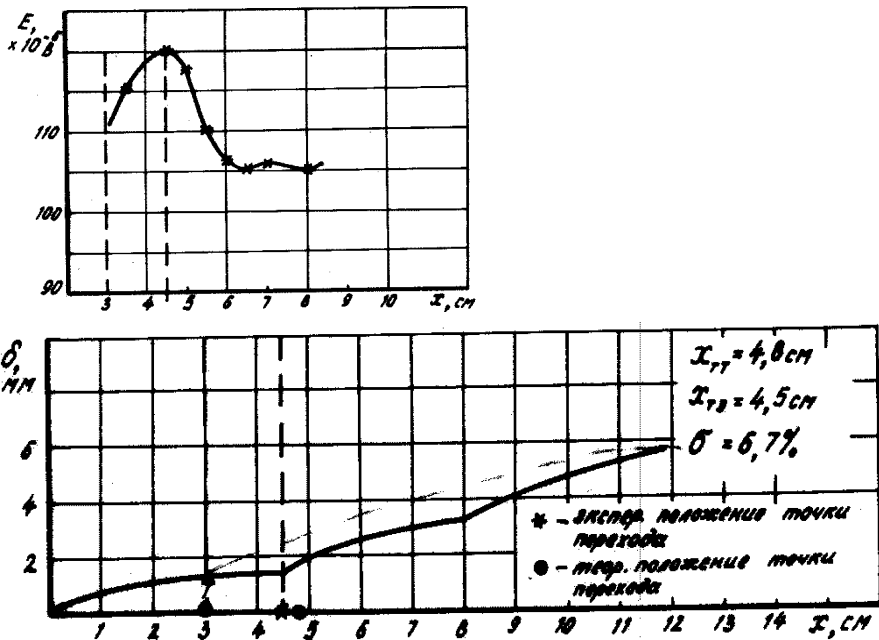


Рис. 5. Результати визначення точки переходу ЛГШ у ТГШ на пластині в повітряному потоці з одиничним турбулізатором. а – залежність термоендс E_t ТТА від координати на пластині; б – визначення точки переходу ЛГШ у ТГШ.

чини, що залежать від природи провідників, що зварюються.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень показали, що чутливість датчика обмежена швидкістю потоку, що набігає, і при даній конструкції датчик вимірює швидкість певного відомого напрямку. Цим і обумовлений був вибір області використання ТТА як вимірника швидкості в граничному шарі (ГШ) на обтічній поверхні. На рис. 3 і 4 представлені результати методичних досліджень ГШ на пластині в аеродинамічній трубі (АДТ) і гідродинамічній трубі (ГДТ).

Отримані і представлені результати дозволяють зробити висновок про можливість використання ТТА не тільки як вимірника швидкості потоку в ГШ, а також і як датчика переходу ламінарного ГШ (ЛГШ) у турбулентний (ТГШ), тобто як індикатора стану ГШ. При цьому ТТА встановлюється на визначеній і постійній висоті над поверхнею пластини (у місці, де v_l – швидкість ламінарної течії більш за всього відрізняється від швидкості v_t – турбулентної течії) і переміщувався уздовж пластини вниз за течією потоку. Момент переходу ЛГШ у ТГШ відрізняється різким падінням E_t в колі ТТА, тобто різким збільшенням швидкості в ГШ на даній висоті.

Дослідження в повітряному потоці проводилися в аеродинамічній трубі АТ-1 КІВПС, у рідині – в гідродинамічній трубі ГДТ КІВПС.

Таким чином, використання ТТА як вимірника швидкості потоку газу чи рідини в ГШ на поверхні, що обтікає, а також як індикатор стану ГШ дозволяє розширити коло задач, зв'язаних з гідроаеродинамічними дослідженнями. Однією з таких задач, наприклад, може бути визначення положення лінії відриву потоку, що є дуже важливим при дослідженні ГШ на несучих поверхнях ЛА з наступним розв'язанням задачі керування граничним шаром елементами механізації адаптивного крила [6].

Список літератури: 1. *Компт-Белло* Анемометрия с насадком из нагретой проволоки. – М: Всесоюзный центр переводов научно-технической литературы и документации. Пер № Б-44606, 1979. – 39 с. 2. *Мишель Акривеллис* Нахождение пространственного поля потока с помощью термоанемометров. – М: Всесоюзный центр переводов научно-технической литературы и документации. Пер. № Б-47244, 1980. – 23 с. 3. *Андреева Н.А., Архипов Н.И.* К вопросу об измерениях полей скоростей с помощью термодинамических методов. Ст. в сб. статей «Летательные аппараты и авиационные двигатели». – Киев, КИВВС, №10, 1991. 4. *А.С.Ставровский* // Открытия. Изобретения. – 1972. – №10. – С. 53. 5. *Шлихтинг Г.* Теория приграничного слоя. – М: Наука, 1974. – 356 с. 6. *Андреева Н.А.* Исследование возможности управления пограничным слоем на частях летательного аппарата. – Київ. Прикладна гідромеханіка. Т.3 (73), 1999. – 82 с.

Надійшла до редакції 28.08.2002.