

зотропии K_1 и K_2 . Следовательно, можно считать, что для ферритов-гранатов иттрия с малым содержанием Sm^{3+} анизотропия в основном является одноионной. То расхождение, которое, однако, имеется, может быть связано с тем, что расчет обменного поля βH проводился в предположении изолированного квартета Γ_8 , т. е. не учитывалось возбужденное состояние Γ_7 . Кроме того, расчет K_1 и K_2 и обменного поля βH был проведен в кубическом приближении. Возможно, что учет ромбических искажений поля, действующих на ионы Sm^{3+} в c -местах граната, привел бы к лучшему согласию теории с экспериментом.

В заключение авторы выражают благодарность К. П. Белову за обсуждение полученных результатов и Б. В. Миллю за предоставленные кристаллы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pearson R. F. Magnetocrystalline anisotropy of rare-earth iron garnets.— J. Appl. Phys., 1962, 33, p. 1236—1242.
2. Калачева Н. М., Левитин Р. З. Магнитная анизотропия иттрий-самариевых ферритов-гранатов.— Физ. тв. тела, 1977, 19, с. 970—972.
3. Pearson R. F., Cooper R. W. Magnetic anisotropy of rare earth doped yttrium iron garnets at low temperatures.— J. Appl. Soc. Japan (Suppl.), B—1, 1962, 17, p. 369—371.
4. White J. A. Theory of the magnetic torque anisotropy of the samarium iron garnet.— Proc. Phys. Soc., 1967, 90, p. 1095—1109.
5. Сорин Л. А., Власова М. В., Левандовский В. Д. Введение в радиоспектроскопию парамагнитных кристаллов. Киев, 1969, с. 1—254.
6. Bleaney B. The spin hamiltonian of a Γ_8 quartet.— Proc. Phys. Soc., 1959, 73, p. 939—942.
7. Harris A. B., Meyer H. Calorimetric determination of energy levels in rare-earth and yttrium iron garnets.— Phys. Rev., 1962, 127, p. 101—118.

Поступила в редакцию
02.02.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, т. 22, № 1

УДК 551.511.6:532.515

**Б. С. АГРОВСКИЙ, Е. П. АНИСИМОВА, А. Г. ЗАЦЕПИН,
М. М. МАСЕЕВ, А. А. СПЕРАНСКАЯ**

О МЕТОДИКЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯ СКОРОСТИ В ОТРЫВНОМ ТЕЧЕНИИ

Отрывные течения являются широко распространенным типом течений, реализующихся как в природных условиях, так и в технике.

До последнего времени единственным методом, позволяющим определять горизонтальную и вертикальную составляющие скорости в отрывных течениях, являлся метод кино съемки [1]. Однако этот метод необычайно трудоемок и для воздушных потоков почти неприменим. Исследование же отрывных течений методом термоанемометрии принципиально невозможно, так как термоанемометр является модульным датчиком. Даже угловой [2] или X-образный [3] термоанемометры позволяют получить вектор скорости потока только в диапазоне малых углов изменения направления скорости ($\pm 20^\circ$). В зоне отрыва пограничного слоя от подстилающей поверхности (и, где средние скорости течения невелики и меняют знак, а интенсивность турбулентности значительна, термоанемометр заведомо должен дать большую ошибку, завышая реально существующую среднюю скорость и искажая измеренные частотные характеристики потока. Это обстоятельство побуди-

ло нас отказаться от термоанемометрической методики измерения поля скорости в зоне отрыва и воспользоваться в качестве датчика скорости механотроном.

В настоящее время промышленностью выпускается серийно ряд типов механотронов, обладающих высокой чувствительностью и линейностью выходных характеристик, а также малыми габаритными размерами и весом [4]. В работе были использованы механотроны типа 6МХ2Б и 6МХ1Б, представляющие собой электронные лампы с механическим управлением. Их электродные схемы являются сдвоенными диодами продольного управления с плоскопараллельными электродами. Датчики имеют один неподвижный подогревный катод и два анода — неподвижный и подвижный. Последний жестко связан со штоком лампы, выведенным через упругую диафрагму наружу и воспринимающим внешнее механическое воздействие. При наличии внешнего механического сигнала в механотроне происходит перемещение подвижного анода, что вызывает соответствующее изменение анодного тока лампы. Используя этот эффект, с помощью механотрона удается преобразовывать различные механические воздействия в электрические сигналы.

Возможность применения механотрона в качестве датчика при измерении скорости воздушного потока основывается на том, что сила, действующая на чувствительный элемент механотрона, помещенного в поток, равна силе аэродинамического давления*. В качестве приемного элемента механотрона обычно используется диск или шарик, укрепленный на конце штока, в отсутствие внешних сил удерживающийся в нейтральном положении при помощи упругой мембраны. Наличие аэродинамического давления в потоке приводит к смещению штока, а вместе с ним и анода механотрона, что вызывает соответствующее этому смещению изменение анодного тока. Если направление воздушного потока совпадает с нормалью к плоскости чувствительного элемента механотрона, то величина выходного сигнала последнего связана однозначной линейной зависимостью с модулем вектора \vec{v} , т. е. можно записать

$$I = kv^2,$$

где I — выходной ток, k — коэффициент пропорциональности. В общем же случае

$$I = \varphi(\alpha) kv^2,$$

где $\varphi(\alpha)$ — некоторая функция, выражающая зависимость показаний механотрона от угла атаки потока, набегающего на его чувствительный элемент. В настоящей работе в качестве чувствительного элемента механотрона использовался плоский диск.

Вид функции $\varphi(\alpha)$ и величина коэффициента k определялись на основании тарировочных испытаний, которые проводились в аэродинамической трубе. В качестве схемы механотрона используется мостовая схема [4]. Для определения вида функции $\varphi(\alpha)$ чувствительный элемент датчика продувался под разными углами атаки α при фиксированных скоростях воздушного потока. Измерения были выполнены в диапазоне скоростей от 2 до 14 м/с. В пределах точности измерений скорости функция $\varphi(\alpha)$ имела вид $\varphi(\alpha) = \cos \alpha |\cos \alpha|$. Значение коэффи-

* Впервые для измерения скорости водного и воздушного потоков механотрон был применен Анохиным [5, 6].

циента k для применявшегося механотрона составляло $1,5 \text{ мкА} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-2}$.

Поскольку выходной сигнал механотрона зависит не только от величины действующей силы, но и от ее знака, датчик скорости, выполненный на механотроне, кроме величины скорости показывает и ее направление.

Благодаря высокой чувствительности к изменению скорости потока и значительной собственной частоте ($\sim 200 \text{ Гц}$) механотрон может быть использован не только для измерения средней скорости потока, но и для записи пульсаций скорости.

Для проверки методики измерения средних скоростей воздушного потока анемометром с чувствительным элементом в виде механотрона было проведено сравнение профилей скорости, измеренных в идентичных условиях разработанным прибором и термоанемометром ДИЗА. Сравнение двух методов измерения средней скорости проводилось на примере безотрывного потока, т. е. в условиях, когда термоанемометр ДИЗА мог быть принят за эталонный прибор. Исследование было выполнено в рабочей части аэродинамической трубы А-6 Института механики МГУ. Аэродинамическая труба А-6 имеет открытую рабочую часть эллиптического сечения размером $4,2 \times 2,4 \text{ м}$ и длиной 4 м . Набегающий воздушный поток обладает в рабочей части трубы следующими характеристиками: неравномерность скорости $\pm 0,5\%$, степень начальной турбулентности $0,2\%$, диапазон развиваемых в трубе устойчивых скоростей потока $5\text{--}40 \text{ м/с}$.

Для сравнительного эксперимента в рабочей части аэродинамической трубы на горизонтальной поверхности стола была установлена модель, имевшая форму усеченного конуса эллиптического сечения, гарантировавшую безотрывное обтекание модели воздушным потоком. Измерения горизонтальной компоненты средней скорости потока в фиксированных точках над моделью производились при одинаковых условиях сначала с помощью термоанемометра ДИЗА, а затем с помощью разработанного анемометра с чувствительным элементом в виде механотрона.

Пример результатов сравнительного эксперимента, полученных над вершиной конуса, приведен в таблице.

Горизонт измерений, см	Скорость (анемометр на механотроне), м/с	Скорость (термоанемометр фирмы Диза), м/с	Горизонт измерений, см	Скорость (анемометр на механотроне), м/с	Скорость (термоанемометр фирмы Диза), м/с
0,50	1,43	1,36	5,00	10,72	10,69
0,75	5,72	5,55	6,50	10,72	10,69
1,25	9,65	9,63	9,00	10,72	10,71
1,50	10,72	10,69	14,00	10,55	10,50
2,00	11,44	11,45	18,50	10,37	10,40
3,00	11,08	11,10	24,00	10,00	10,00
4,00	11,08	11,10	33,50	10,00	10,00

Как видно из таблицы, совпадение результатов измерений, выполненных с помощью разработанного анемометра и термоанемометра, хорошее, и расхождение не превышает 5% . При этом расхождение результатов несколько увеличивается в точках измерений, лежащих вблизи от подстилающей поверхности. Последнее может быть объяснено тем, что измерения профилей скорости с помощью разработанного прибора и термоанемометра ДИЗА проводились не одновременно, а последовательно, причем могла быть внесена систематическая ошибка

в определение горизонта измерений из-за несовершенства координатного устройства. Такая ошибка неизбежно приведет к расхождению результатов измерения скорости тем большому, чем больше градиент скорости в точке измерений. В нашем случае это как раз и будет иметь место вблизи подстилающей поверхности.

Для сравнительной характеристики работы анемометра на механотроне и термоанемометра было измерено поле продольной компоненты скорости в отрывном течении, возникающем за волновым профилем. С этой целью в рабочей части аэродинамической трубы А-6 устанавливался стол с размещенным на нем жестким профилем, имевшим форму волны. Крутизна волнового профиля $h/\lambda=0,1$, где h —высота волны, λ —ее длина. На рис. 1 представлены профили относительной продольной компоненты средней скорости воздушного потока ($\bar{v}(z) = \bar{u}/u_\infty$) в области отрывного течения за гребнем волнового профиля, измеренные при помощи механотронного датчика (а) и термо-

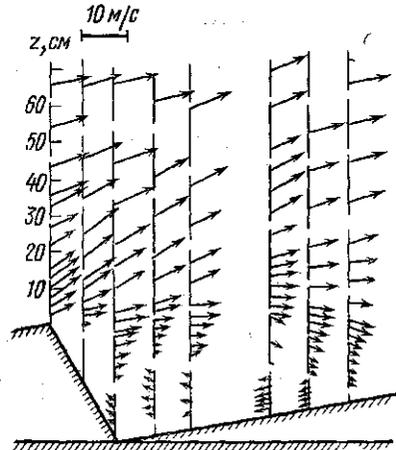
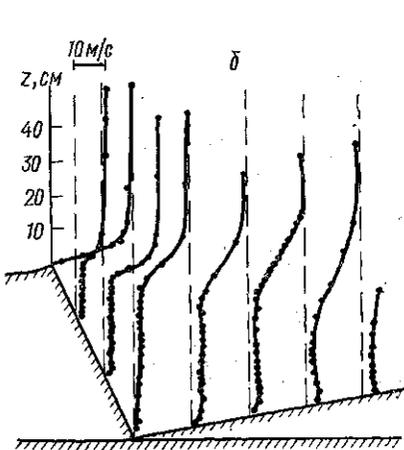
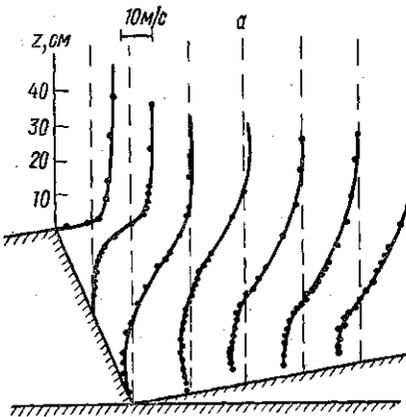


Рис. 1. Профили продольной составляющей средней скорости воздушного потока в зоне отрывного течения за гребнем волнового профиля. Измерения выполнены при помощи анемометра на механотроне (а) и термоанемометра (б)

Рис. 2. Диаграмма векторного поля средней скорости за волновым профилем

анемометра (б). Как видно из рисунков, указанные методики измерения скорости в отрывном течении дают существенно различные результаты. В областях отрывного течения, где средняя скорость близка к нулю, а интенсивность турбулентности велика, термоанемометр дает завышенное значение средней скорости и не реагирует на изменение ее направления (рис. 1, б). В то же время анемометр с датчиком в виде механотрона позволил зафиксировать точку перехода продольной

компоненты скорости через ноль и измерить профиль скорости в обратном течении (рис. 1, а).

Для измерения вектора скорости в течениях с отрывом пограничного слоя был применен двухкомпонентный датчик скорости, состоящий из двух механотронов, установленных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Измерения, выполненные с помощью двухкомпонентного датчика, позволяют построить векторную диаграмму поля скорости в отрывном течении. Пример такой векторной диаграммы поля скорости за волновым профилем представлен на рис. 2. Двухкомпонентный датчик с чувствительными элементами в виде механотронов позволяет получить подробную картину кинематики воздушного потока в различных зонах отрывного течения.

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о непригодности термоанемометрической методики для измерения поля скорости в отрывном течении. Вместе с тем полученные материалы говорят о перспективности применения анемометров с чувствительным элементом в виде механотрона для исследования структуры отрывных течений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фидман Б. А. О балансе энергии при отрывном турбулентном течении.— Изв. АН СССР, отд. техн. наук, 1958, № 8, с. 139—142.
2. Кречмер С. И. Методика измерений микропульсаций скорости ветра и температуры в атмосфере.— Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, 1954, № 24, 151 с.
3. Хинце И. О. Турбулентность, ее механизм и теория. М., 1963, 680 с.
4. Берлин Г. С., Розентул С. А. Механотронные преобразователи и их применение. М., 1974, 239 с.
5. Анохин Ю. С. Измерение мгновенных значений скорости течения жидкости при помощи электронных ламп с механическим управлением.— Измерительная техника, 1965, № 8, с. 11—12.
6. Анохин Ю. С. Электронно-механический способ измерения скорости воздушных потоков.— Метеорология и гидрология, 1966, № 8, с. 14—19.

Поступила в редакцию
19.10.78

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, т. 22, № 1

УДК 537.624:550.38

В. И. МАКСИМОЧКИН, В. И. ТРУХИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ МАГНЕТИТОВ ОТ ЧАСТОТЫ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В магнетизме горных пород широкое распространение получили методы исследования, использующие переменное магнитное поле h с частотой $\nu=50$ Гц: создание идеальной остаточной намагниченности I_{Ti} [1, 2], магнитная чистка [3], изучение параметров стабильности и коэрцитивных спектров [4, 5], определение палеонапряженности [6] и т. д.

Интерпретация всех результатов по воздействию h на образцы горных пород делается в предположении, что в широком диапазоне низких частот (до 1 МГц) не существует частотной зависимости остаточных магнитных свойств, при этом физические и теоретические представления основаны на том, что изменения намагниченности в переменных полях низких частот происходят квазистатически.