



**МОРФОЛОГИЯ,
ФИЗИОЛОГИЯ
И АКУСТИКА
МОРСКИХ
МЛЕКОПИТАЮЩИХ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

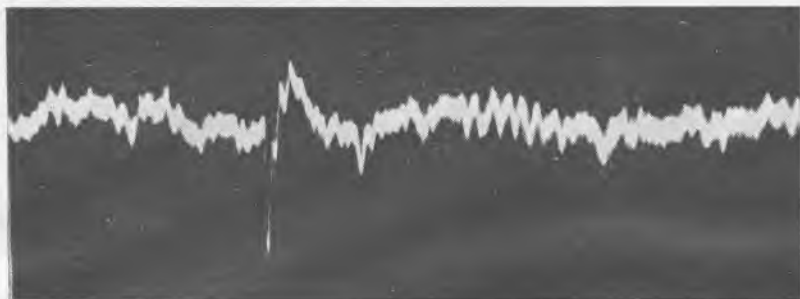


Рис. 6. Эхолокационный импульс дельфина

МПО-2. На рис. 6 приведена фотография звукового импульса дельфина, зарегистрированного с помощью описанной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

- Ивнс У., Сазерланд У. 1965. Возможности использования телеметрии при изучении сигнализации морских животных.— В сб.: Биотелеметрия. Пер. с англ. под ред. Н. А. Бернштейна. М., «Мир».
- Шеннон Ч. Е. 1963. Математическая теория связи. В сб.: Работы по теории информации и кибернетике. Пер. с англ. М., ИЛ.
- Baldwin M. A. 1965. Some Experiments in Marine Biotelemetry.— *Naval Research Reviews*, 18, No 2.
- Diercks K. J., Trochta R. A., Greenlaw C. F., Evans W. E. 1971. Recording and Analysis of Dolphin Echolocation Signals.— *JASA*, 49, No 6, part 1.
- Maniva V. 1960. Detection of Fish by Soundbo.— *Bull. Japan. Soc. Scient. Fisheries*, 26, No 3.

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ СКОРОСТИ В ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ

Е. В. Романенко

В настоящее время наиболее распространенным способом измерения турбулентных пульсаций скорости пока еще остается способ термоанемометра (Хинце, 1963). Однако он имеет очень серьезные ограничения.

Прежде всего работа термоанемометра связана с применением сложной схемы подогрева нити. Это чисто техническая трудность. Но есть ограничения принципиального характера. К ним относится нелинейный характер зависимости переноса тепла от

скорости и температуры. Кроме того, существенные ограничения накладывает тепловая инерция нити, приводящая к ухудшению характеристик термоанемометра в области высоких частот пульсаций скорости потока. Обычно термоанемометром пользуются при измерениях турбулентности в газах.

Для измерений в капельных жидкостях термоанемометр оказывается значительно менее подходящим. Дело в том, что рабочая температура нити из-за возможности испарения и образования окалины в этом случае должна быть очень низкой. Кроме того, может также происходить электролиз, а это явление повлечет за собой много неприятностей.

В связи с перечисленными выше ограничениями термоанемометра проблема измерения турбулентности в жидкости еще требует своего решения.

Остроумный метод измерения пульсаций скорости в проводящей жидкости предложил Эшкинази (Eskinazi, 1958). Сущность его метода состоит в том, что для измерения пульсаций применяют два электрода, помещенные в поток проводящей жидкости, к которым прикладывается небольшая разность потенциалов. Разность потенциалов должна обеспечить протекание тока между электродами величиной не более 10—30 мка. При этом токе на электродах еще не образуются пузырьки водорода (отсутствует электролиз).

Пульсации скорости в потоке приводят к появлению флуктуаций проводимости электролита в зазоре между электродами и, следовательно, к флуктуациям протекающего тока, которые и измеряются.

Ток через зазор есть функция приложенного потенциала, скорости переноса проводящей среды, геометрии электродов и зазора между ними.

В настоящей работе предлагается еще один электрохимический метод измерения пульсаций скорости, который представляется нам весьма перспективным не только для гидродинамических, и в особенности для биогидродинамических исследований.

Метод основан на эффекте Дебая (Debye, 1933), заключающемся в существовании разницы динамических реакций сольватированных ионов электролита на движение частиц среды. Анионы и катионы имеют разные эффективные массы и коэффициенты трения. В результате наличие в среде пульсаций скорости приводит к появлению разности потенциалов (так называемый вибрационный потенциал) между двумя точками, разделенными на конечное расстояние в направлении действия пульсаций. Эта разность потенциалов может быть зарегистрирована с помощью двух электродов, помещенных в поле пульсаций скорости.

Теория эффекта дана самим Дебаем. Однако теоретические выводы Дебая находятся в некотором противоречии с экспериментом. Дело в том, что, по Дебаю, эффект должен отсутствовать в чистых жидкостях, тогда как эксперимент показывает, что в

чистых жидкостях эффект проявляется даже лучше, чем в электролитах.

Объяснение этому противоречию попытался дать Вайнман (Weinmann, 1959, 1960). Он предложил феноменологическую теорию эффекта, предположив, что помимо эффекта Дебая существует еще один эффект, связанный с появлением градиента плотности жидкости в поле пульсаций скорости. Вайнман предложил свою теорию применительно к звуковому полю. Однако его теория, по-видимому, приложима и к случаю гидродинамических пульсаций скорости, в поле которых не исключено существование градиентов плотности.

Вайнман дает общую формулу для эффекта в виде

$$\left| \Phi_{\max} \right| = \frac{a_0 [(ScvM_H/e)^2 + (\Phi_{\infty}/a)^2]^{1/2}}{[1 + S^2]^{1/2}}, \quad (1)$$

где

$$S = \frac{4\pi L}{\varepsilon\omega} \quad (2)$$

и

$$L = \sum_j e_j^2 n_j / \rho_j. \quad (3)$$

Здесь e_j — заряды ионов; n_j — равновесная концентрация (ионов/см³); ρ_j — коэффициент трения; M_H — масса водородного атома; e — заряд электрона; L — приблизительно равно удельной проводимости электролита; $v \simeq 12$ — количественная характеристика чистого дебаевского эффекта; Φ_{∞} — пиковый потенциал при бесконечном разбавлении электролита; a_0 — колебательная скорость частиц жидкости; $\omega = 2\pi f$; f — частота колебаний; c — скорость звука.

Формула (1) отличается от формулы Дебая с поправкой Германа (Hermans, 1938) лишь членом $(\Phi_{\infty}/a_0)^2$. Эксперименты Рутжерса и Риголе (Rutgers, Rigole, 1958) дают для величины Φ_{∞}/a_0 в воде 15 мкв/см/сек. С ростом концентрации электролита расчетная величина $|\Phi_{\max}|$ изменяется в хорошем соответствии с экспериментом. Таким образом, феноменологическая теория Вайнмана неплохо объясняет результаты экспериментов и дает однозначную зависимость величины вибрационного потенциала от колебательной скорости. При этом для чистой воды вибрационный потенциал имеет наибольшее значение. Для электролитов его величина будет меньше.

Если теория Вайнмана справедлива не только для акустических, но и для гидродинамических явлений, это открывает определенные возможности. Дело в том, что уровень пульсаций скорости в турбулентном потоке жидкости составляет 5—10% средней скорости потока. Например, при скорости потока 10 м/сек пульсации скорости могут достигать величины порядка 100 см/сек и величина вибрационного потенциала оказывается вполне измеримой.

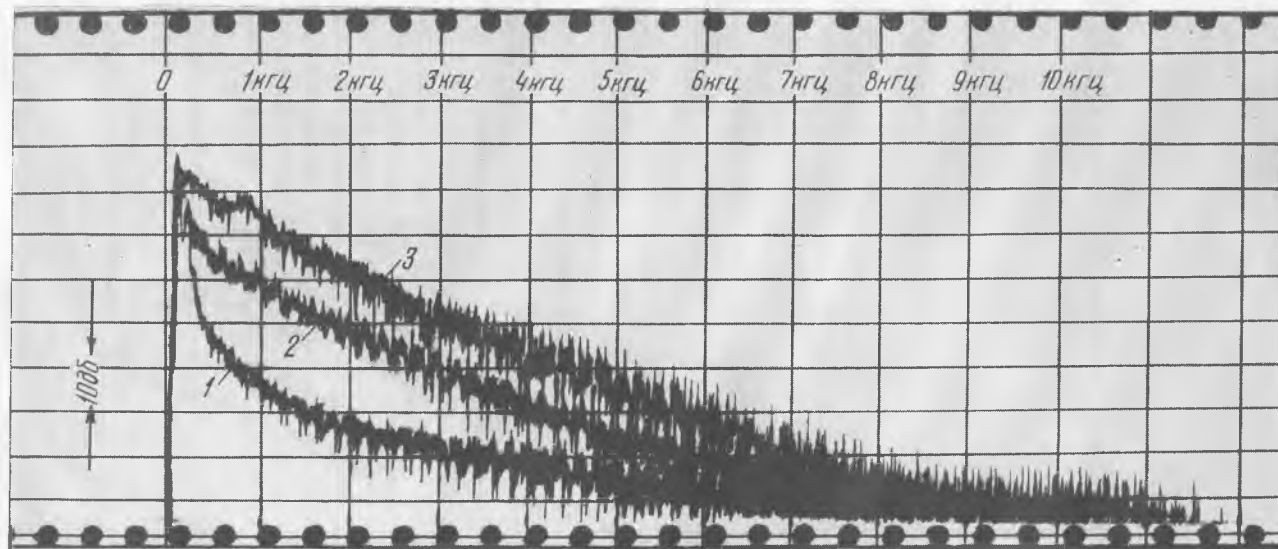


Рис. 1. Измеритель пульсаций скорости

1 — платиновый чувствительный элемент; 2 — латунный держатель; 3 — изоляция; 4 — экранированный провод

Рис. 2. Спектры пульсаций скорости в пограничном слое на полуцилиндрической модели

Скорость потока в м/сек: 1 — 5; 2 — 15; 3 — 25



Измерение вибрационного потенциала, как уже отмечалось, можно производить с помощью двух электродов, помещаемых в поле пульсаций скорости и присоединяемых к обычному усилителю и регистрирующему прибору. Но можно измерять вибрационный потенциал и в одной точке относительно окружающей жидкости — с помощью только одного электрода, помещаемого в точку измерения. Вторым электродом может служить металлический держатель измерительного электрода, изолированный от него, но находящийся в электрическом контакте с окружающей жидкостью и усредняющий ее потенциал на своей поверхности.

Именно в таком виде разработан и изготовлен измеритель пульсаций скорости, предлагаемый в настоящей работе и показанный на рис. 1.

Центральный электрод 1, служащий чувствительным элементом измерителя, представляет собой торец платиновой проволоки $\varnothing 0,3$ мм, выступающий из латунного держателя 2 с внешним диаметром 3 мм и изолированный от него.

Приемник пульсаций устанавливается в потоке так, чтобы чувствительный электрод был направлен навстречу набегающему потоку. В этом случае возмущающее влияние держателя на поток жидкости в окрестности чувствительного электрода будет наименьшим.

На рис. 2 показаны спектры пульсаций скорости, зарегистрированные описанным измерителем в пограничном слое на полцилиндрической обтекаемой модели в гидродинамической трубе при скоростях обтекания 5; 15 и 25 м/сек. Измеритель был установлен так, что чувствительный электрод располагался в 1,5 мм от обтекаемой поверхности при толщине пограничного слоя 6—8 мм.

Описанный измеритель обладает рядом преимуществ перед термоанемометром. Он исключительно прост в изготовлении, прочен и не требует сложной электрической схемы. В процессе измерений он подключается ко входу обычного широкополосного усилителя. Его внутреннее сопротивление определяется проводимостью жидкости, а чувствительность — порядка единиц мкв/см/сек. Диапазон рабочих частот его практически не ограничен, поскольку измеритель не обладает инерцией, а размер чувствительного элемента может быть сделан существенно меньше, чем длина нити термоанемометра.

ЛИТЕРАТУРА

Хунце И. О. 1963. Турбулентность. М., ГИФМЛ.

Debye P. 1933. A Method for the Determination of the Mass of Electrolytic Ions.—J. Chem. Phys., 1, No 1.

Eskinasi S. 1958. Turbulence measurement in electrically conducting Fluids.—The Physics of Fluids. 1. No 2.

- Fermans I. I.* 1938. Charged Colloid Particles in an Ultrasonic Field.— *Phil. Mag.*, 25, 26.
- Rutgers A., Rigole A.* 1958. *Trans. Faraday Soc.*, 54.
- Weinmann A.* 1959. Phenomenological Theory of Ultrasonic Vibration Potentials in Liquids and Electrolytes.— *Proc. Phys. Soc.*, v. 73, part 3, No 471.
- Weinmann A.* 1960. Theory of Ultrasonic Vibration Potentials in Pure Liquids.— *Proc. Phys. Soc.*, 75, part 1, No 481.

МАГНИТОФОН ДЛЯ ПОДВОДНОЙ ЗАПИСИ

Е. В. Романенко, В. А. Чикалкин

Одна из основных методических проблем, стоящих перед исследователями, изучающими такие биологические объекты, как рыбы, китообразные и ластоногие, заключается в получении информации о параметрах их жизнедеятельности вообще и о биоакустических параметрах в частности в условиях естественного обитания или близких к таковым. В литературе описаны телеметрические устройства (Diercks a. oth., 1974; Янов, Романенко, 1971; Романенко, Янов, Акопян, настоящий сборник), позволяющие решать эту задачу. Но каждое из таких устройств обладает своими недостатками: использование кабельной связи для передачи информации сковывает движения животного, передача информации по радиоканалу сопряжена с известными сложностями ее кодирования и декодирования. Кроме того, радиус действия в этом случае весьма ограничен. В конечном же итоге для регистрации служит, как правило, магнитофон.

Поэтому возникает вопрос, нельзя ли обойтись без каналов передачи информации и регистрировать информацию, поступающую с датчиков, непосредственно на магнитофон, размещаемый на изучаемом объекте.

Существующие системы магнитофонов не приспособлены к такому применению: они не герметизированы, имеют, как правило, большие габариты и вес и в большинстве случаев недостаточно широкий диапазон рабочих частот.

В лаборатории биоакустики Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР разработаны два варианта трехканального магнитофона, закрепляемого непосредственно на животном и предназначенного для записи под водой полезной информации прямо с датчиков в полосе частот от 100 гц до 100 кгц. Запись производят одновременно на три стандартные проволочные звуконосителя с помощью трех стандартных записывающих головок.