

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ОБТЕКАНИЯ МОРСКИХ ЖИВОТНЫХ

Е. В. РОМАНЕНКО, В. Г. ЯНОВ

Измерение осредненной скорости потока вблизи тела животного представляет известные трудности. Нельзя воспользоваться трубками Пито. Измеритель должен быть автономным, а измерения должны проводиться автоматически. Кроме того, измеритель должен иметь малый вес, габариты и инерционность, а также достаточно большой динамический диапазон измеряемых величин. В практике измерения скоростей обтекания дельфинов успешно применялись главным образом измерители скорости типа вертушки: электролитические (Егидис, Шакало, 1971) и магнитные (Кадук и др., 1971; Романенко, Янов, 1973; Кидун, 1974). Однако измерители скорости типа вертушки имеют один серьезный недостаток: они измеряют только одну компоненту скорости потока (продольную). Движения животного не стационарны, и вектор скорости обтекания в процессе движения может значительно менять свое направление. Особенно это заметно в хвостовой части тела животного, которая колеблется с наибольшей амплитудой. В этой части поперечная компонента скорости, параллельная поверхности тела, может быть существенной. По данным Каяна (1976), амплитуда колебаний хвостового плавника афалины при равномерном и ускоренном плавании составляет величину порядка 10—12% длины тела, а частота колебаний при этом составляет несколько герц. Простой расчет показывает, что у дельфина размером около 250 см, плывущего со скоростью около 400 см/с, поперечная компонента скорости, параллельная поверхности тела, вблизи хвостового плавника составит величину около 380 см/с. (При расчете частота колебаний тела дельфина принята равной 2 Гц.) Видно, что в рассмотренном случае поперечная компонента скорости практически равна продольной, и, следовательно, ошибка измерения скорости обтекания с помощью вертушки может составить величину около 40%.

В связи с приведенными выше соображениями возникает необходимость в разработке методов измерения полной скорости обтекания, представляющей собой векторную сумму продольной и поперечной компонент скорости обтекания. Строго говоря, должна быть учтена еще поперечная компонента скорости, перпендикулярная к поверхности тела. Однако, если измерения проводятся в достаточной близости к поверхности тела (в нескольких сантиметрах от поверхности, как это чаще всего бывает), этой компонентой скорости можно пренебречь. В дальнейшем полной скоростью обтекания мы будем называть скорость обтекания без учета компоненты, перпендикулярной к поверхности тела животного.



Рис. 1. Общий вид измерителя скорости

1 — держатель; 2 — стальной изогнутый прут круглого сечения; 3 — приемник пульсаций давления; 4 — присоска

Полную скорость обтекания можно измерять с помощью термоанемометра (или термосопротивления), нить которого установлена перпендикулярно к поверхности тела. Однако в этом случае сохраняют силу все недостатки, присущие термоанемометрическому методу измерений скорости: сложность схемы подогрева нити (или термосопротивления), нестабильность работы в жидкости вследствие загрязнения нити, перегорание нити при внезапном выходе измерителя из воды в воздух, инерционность и т. п.

Более перспективным мы считаем измеритель полной скорости обтекания, основанный на явлении отрыва ламинарного пограничного слоя при обтекании круглого цилиндра в поперечном направлении и образовании вихревой дорожки (Катыс, 1965). Частота срыва вихрей в этом случае определяется выражением

$$f = Sh \cdot \frac{u}{d}, \quad (1)$$

где d — диаметр цилиндра; U — скорость потока; Sh — число Струхала, которое мало изменяется в широком диапазоне чисел Рейнольдса и равно 0,21. Приведенное соотношение однозначно связывает частоту срыва вихрей и скорость потока. Таким образом, измерение скорости потока легко может быть сведено к измерению частоты срыва вихрей за обтекаемым цилиндром. Именно такой измеритель был разработан и применялся в биогиродинамических исследованиях. На рис. 1 показан измеритель скорости, состоящий из держателя 1 с закрепленными в

нем стальным изогнутым прутом 2 и приемником пульсаций давления 3. Диаметр прута выбирается из следующих соображений. Регулярная вихревая дорожка за обтекаемым цилиндром образуется только в области чисел Рейнольдса примерно от 60 до 5000. Для чисел Рейнольдса, меньших 60, за цилиндром наблюдается ламинарное течение, а для чисел, больших 5000,— турбулентное перемешивание без четко наблюдаемых вихрей. Под числом Рейнольдса мы имеем в виду соотношение

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu}, \quad (2)$$

где U — скорость потока; d — диаметр цилиндра; ν — кинематическая вязкость (Шлихтинг, 1974).

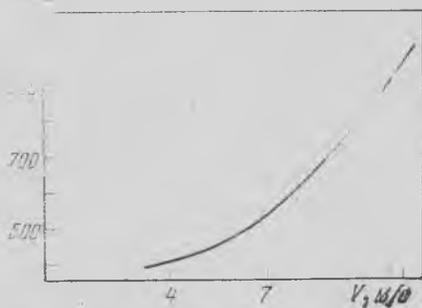
Задавшись конкретным диаметром прута, по соотношению (2) можно определить пределы скоростей обтекания, в которых за прутком будет наблюдаться четкая вихревая дорожка. В частности, при диаметре прута, равном 0,1 см, пределы скоростей будут от 6 до 500 см/с. Учитывая, что дельфины в неволе при наличии на них закрепленной аппаратуры плавают, как правило, со скоростью, не превышающей 500—600 см/с, следует выбирать для измерителя скорости прут диаметром около 0,1 см.

Методика работы с описываемым измерителем скорости обтекания очень проста. Держатель измерителя скорости закрепляется на теле животного в точке измерения одним из известных способов (с помощью пояса или присосок) так, чтобы прут был перпендикулярен к поверхности тела животного, а приемник пульсаций (Романенко, 1971) оказался в вихревом следе цилиндра при его обтекании потоком. Поскольку вихревой след за цилиндром достаточно широк, приемник пульсаций будет оставаться в нем или вблизи него при значительных отклонениях вектора скорости от продольного направления, а частота срыва вихрей будет определяться именно полным вектором скорости. Таким образом, положение максимума спектра пульсаций давления, регистрируемых приемником пульсаций давления, будет однозначно определяться полным вектором скорости набегающего потока, если обтекаемый цилиндр перпендикулярен поверхности тела животного и находится в непосредственной близости от него, но вне пределов пограничного слоя. Если же обтекаемый цилиндр вместе с приемником пульсаций давления находится на значительном удалении от тела, не исключена погрешность в измерении полного вектора скорости потока за счет компоненты скорости, перпендикулярной к телу животного, так как эта компонента практически не сказывается на характере обтекания цилиндра. Измеритель скорости не следует также устанавливать слишком близко к телу животного (в пределах пограничного слоя), так как в этом случае цилиндр будет обтекаться потоком, скорость которого резко меняется по толщине пограничного слоя (в соответствии с эпюрой скоростей в пограничном слое) и ре-

2710

АВОСТЬЯНОВА ЛИИ

с. 2. Градуировочная кривая



с. 3. Сонограмма зависимости частоты срыва вихрей от времени плавания стнистой ларги с переменной скоростью



Результаты измерений могут содержать значительную ошибку. Если к тому же пограничный слой турбулизирован, характер вихревой дорожки может значительно измениться, а частота срыва вихрей может не соответствовать соотношению (1).

Большим преимуществом описываемого измерителя скорости является то, что в определенном интервале скоростей обтекания и в очень высоких требованиях к точности измерений он не нуждается в специальной тарировке, так как соотношение (1), положенное в основу принципа работы измерителя, достаточно хорошо согласуется с экспериментом, что проверялось неоднократно. Если же требуется высокая точность измерений или интервал скоростей значительно шире рекомендуемого, измеритель скорости следует тарировать в гидродинамической трубе или путем протаскивания обтекаемого тела с закрепленным на нем измерителем. Именно вторым из упомянутых способов был градуирован разработанный и изготовленный экземпляр измерителя, у которого диаметр прута был равен 0,15 см (из соображений прочности). В этом случае рекомендованный интервал измеряемых скоростей заключен в пределах 4,5–375 см/с. Тарировка же была проведена до скоростей около 1100 см/с и показала применимость измерителя при более высоких скоростях, чем рекомендуемые. На рис. 2 показана градуировочная кривая, где по вертикальной оси отложена частота срыва вихрей (максимум спектра пульсаций давления за цилиндром), а по горизонтальной

оси — скорость набегающего потока.

На рис. 3 приведена сонограмма, показывающая в ре- масштаб времени характер изменения частоты срыва 1 в точке, расположенной на правом боку пятнистой ларги, в от носа при ее плавании с переменной скоростью. В ука- точке был расположен описанный измеритель скорости. В ре регистрируемых им пульсаций давления четко выдел одна спектральная компонента, положение которой на част оси (вертикальной оси сонограммы) однозначно определ скоростью набегающего потока. На сонограмме приведе спектральный разрез, иллюстрирующий хорошую четкост стотного максимума. Линейчатые компоненты спектрального реза в его низкочастотной части представляют собой часте калибровку и отстоят друг от друга на 50 Гц.

ЛИТЕРАТУРА

- Егидис В. М., Шакало В. М.* 1971. Применение электролитической вертушки для измерения скорости движения в морской воде.— Б т. 5. «Наукова думка».
- Кадук Б. Г., Вережка Н. А., Татаренко Г. М.* 1971. О некоторых эле ских свойствах турбинно-магнитного датчика скорости.— Бионик Киев.
- Катыс Г. П.* 1965. Системы автоматического контроля полей скоростей ходов. М., «Наука».
- Каян В. П.* 1976. Исследование кинематики и гидродинамики плаван которых водных животных. Канд. дисс. Киев.
- Кидун С. М.* 1974. Тахометрический датчик для измерения скорости жения в воде.— Бионика, т. 8. Киев.
- Романенко Е. В.* 1971. Приемники пульсаций давления, предназнач для работы с дельфинами.— Труды Акуст. ин-та, вып. 17.
- Романенко Е. В., Янов В. Г.* 1973. Результаты экспериментов по изу гидродинамики дельфинов.— Бионика, т. 7. Киев.
- Шлахтинг Г.* 1974. Теория пограничного слоя. М., «Наука».

□

БИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАСТОНОГИХ

В. Г. Янов

Изучение гидродинамических характеристик морских мле питающих — исключительно сложная в методическом отноше задача. Поэтому к настоящему времени опубликовано вес ограниченного числа работ, посвященных экспериментальн изучению тонкой структуры пограничного слоя морских мле питающих, находящихся в свободном плавании. Известны ра ты по изучению характеристик пограничного слоя свободно п