

ТРУДЫ
АКУСТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Выпуск XVII

1971

Е.В.Романенко

ПРИЕМНИКИ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ
ДЛЯ РАБОТЫ С ДЕЛЬФИНАМИ

Описано несколько конструктивных вариантов приемников пульсаций давления накладного типа, предназначенных для измерения флуктуаций давления в пограничном слое свободно плавающего дельфина. Приемники накладного типа могут быть использованы также для измерений на жестких подводных объектах.

Чувствительность приемников пульсаций может быть от 0,1 до 30 мкв/бар, в зависимости от конструкции.

Методика исследования пульсаций давления в пограничном слое, возникающем при движении дельфина, принципиально отличается от методики соответствующих исследований, проводимых на жестких моделях. В случае жестких моделей приемники пульсаций давления обычно монтируются на одном уровне с обтекаемой поверхностью тела. При этом все конструктивные элементы приемника находятся внутри обтекаемого тела. Смонтировать приемник пульсаций на поверхности кожи дельфина невозможно. В лучшем случае можно вживить его целиком под кожу, но тогда чувствительный элемент приемника будет отделен от пограничного слоя слоем кожи, пусть даже и тонким. Это, без сомнения, значительно снизит чувствительность приемника и сделает неизвестным эффективный поперечник его приемной поверхности. Более удобно использование приемников пульсаций давления, которые тем или иным способом накладываются на поверхность кожи дельфинов. Несколько вариантов таких приемников пульсаций давления были разработаны и некоторые из них применялись при исследовании гидродинамики дельфинов.

Один из вариантов приемника представляет собой приемник пульсаций, смонтированный вровень с некоторой обтекаемой накладкой, приклеиваемой (или прикрепляемой иным способом) к коже дельфина в месте измерения. В этом случае все конструктивные элементы приемника смонтированы в накладке. Схематически это изображено на рис.1. Этот вариант обладает всеми положительными качествами,

присущими обычным приемникам пульсаций, используемым на жестких моделях: его приемная поверхность может быть сделана достаточно малой, расположена она на одном уровне с обтекаемой поверхностью и т.п. Однако использование их на дельфинах сопряжено с целым рядом трудностей. Прежде всего, обтекаемая накладка имеет входную кромку, возможное влияние которой на характер обтекания в точке расположения приемника практически неконтролируемо. Кроме того, площадь соприкосновения накладки с кожей должна быть достаточно большой, чтобы сохранилась хорошая ее обтекаемость. Это приведет к тому, что в окрестности чувствительного элемента на значительной площади обтекаться будет не кожа, а накладка, т.е. жесткое тело, условия обтекания которого иные, чем кожи. Далее, наличие накладки заметных размеров может препятствовать изгибам тела (кожи) в месте ее расположения.

На рис.2 показано устройство такого приемника. В этой конструкции использовался принцип трансформации давления в целях увеличения чувствительности.

Приемник устроен следующим образом. Между двумя половинками металлического корпуса I заземлена пластина 3 из керамики титаната бария или ЦТС. Стержень 2 упирается нижним концом в конец пластинки 3, а другой его конец проходит сквозь герметик 4 и сошлифован вровень с верхней обтекаемой поверхностью корпуса I. Этот сошлифованный торец стерженька 2 служит приемной поверхностью.



Рис.1. Приемник пульсаций давления с обтекателем:
I - приемник пульсаций; 2 - кабель; 3 - накладка (обтекатель)

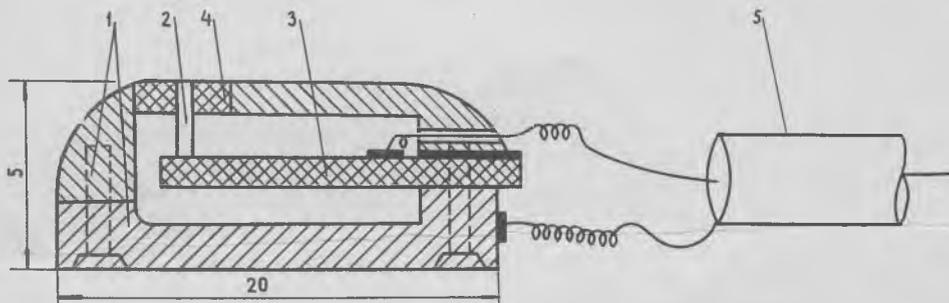


Рис.2. Первый вариант приемника пульсаций давления

Пульсации давления передаются через стерженек на конец пластинки, которая изгибается под их действием. Это приводит к появлению на электродах электрического потенциала, передаваемого по кабелю 5 к измерительной схеме. Чувствительность описанного приемника пульсаций давления в сочетании с отрезком кабеля длиной 50-70 см - около 4 мкв/бар. Собственная емкость чувствительного элемента приемника - около 20 пф, емкость с кабелем - 100 пф. В собранном виде приемник пульсаций заливается эпоксидной смолой, которая и образует обтекатель (см. рис.1).

Другой вариант приемника пульсаций давления отличается от описанного ранее. Предыдущий вариант обладает одним существенным недостатком. Он может регистрировать пульсации давления только на обтекаемой поверхности. С его помощью нельзя, например, измерить пульсации давления в любой точке пограничного слоя или за его пределами, что может оказаться очень важным при исследовании характера обтекания тела дельфина. Это обстоятельство и заставило разработать предлагаемую конструкцию приемника пульсаций, которая показана на рис.3. Здесь 1 - чувствительный элемент в виде тонкого стержня круглого сечения диаметром 1,5 мм и длиной 7 мм из керамики титаната бария или ЦТС. На стержне нанесены два кольцевых электрода 2, в зазоре между которыми произведена поверхностная поляризация керамики. Большой электрод стержня заземляется между двумя половинками 3 обтекаемого латунного корпуса, имеющего длину 5 см, диаметр 0,5 см. При этом большой электрод изолирован от корпуса с помощью тефлоновой прокладки 6. Меньший электрод соединяется с корпусом, а большой - с затвором полевого транзистора 7 типа КП-103, на котором собран входной усилительный каскад, вмонтированный в корпус приемника^х). Сток транзистора соединяется с центральной жилой 5 кабеля 4 и далее с нагрузочным сопротивлением и остальными элементами измерительной схемы. Сопротивление утечки 8 усилителя порядка 100 Мом так же, как и транзистор, монтируется в корпусе приемника. Обе половинки корпуса при сборке скрепляются винтами. Внутренняя полость корпуса заполняется герметизирующей замазкой, представляющей собой сплав воска и канифоли в пропорции 1:1. Той же замазкой покрывается чувствительный элемент 1. Самый конец стержня 1 остается непокрытым замазкой. Размер этого участка составляет примерно 1,5 мм и может считаться размером приемной поверхности. Чувствительность приемника на входе первого усилительного каскада - около 0,5 мкв/бар. Такой приемник пульсаций может быть установлен в любой точке по-

х) Схема предварительного усилителя на полевым транзисторе КП-103 разработана старшим инженером Яновым В.Г.

граничного слоя и даже за его пределами, причем чувствительный конец стержня I должен быть направлен навстречу потоку.

Чувствительный элемент второго варианта приемника пульсаций давления может быть выполнен в виде стержня квадратного сечения (рис.4) с закругленным приемным концом. В этом случае электроды нанесены на две противоположные продольные грани стержня.

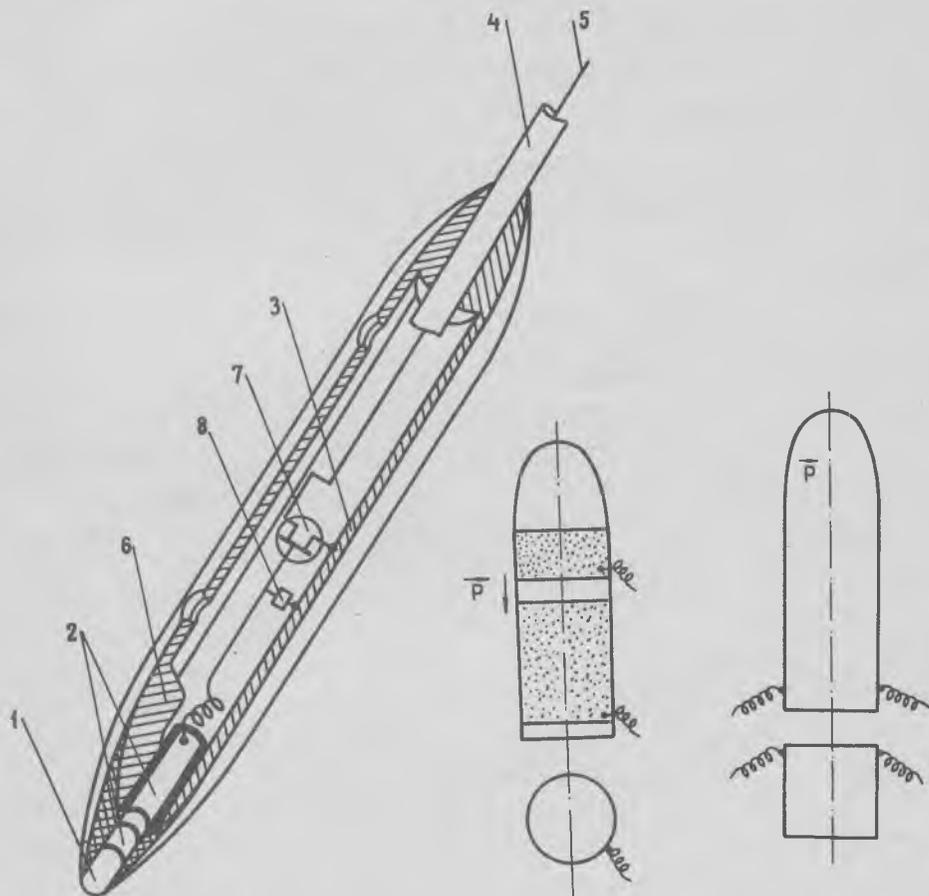


Рис.3. Второй вариант приемника пульсаций давления

Рис.4. Чувствительные элементы второго варианта приемника пульсаций давления

Поляризация осуществляется по толщине стержня. Такой чувствительный элемент значительно легче изготовить, чем элемент круглого сечения с кольцевыми электродами. Чувствительность приемника в этом случае составляет около 1,5 мкв/бар.

Третий вариант приемника пульсаций давления конструктивно выполнен так же, как и второй вариант. Разница заключается лишь в форме чувствительного элемента, который выполнен в виде тонкой

пластины из керамики титаната бария или ЦТС с двумя электродами (как в первом варианте). Поляризация керамики осуществляется по поверхности в зазоре между электродами. Пластина заземляется в обтекаемом корпусе на уровне зазора между электродами и работает на изгиб. Выступающий конец пластинки закругляется.

Применение тонкой пластинки в качестве чувствительного элемента приводит к существенному (более чем на порядок) увеличению чувствительности приемника, так как при этом используется трансформация механических напряжений. При толщине пластинки 0,5 мм, ширине 2 мм и длине от приемного конца до зазора 3 мм удается получить чувствительность приемника около 30 мкв/бар.

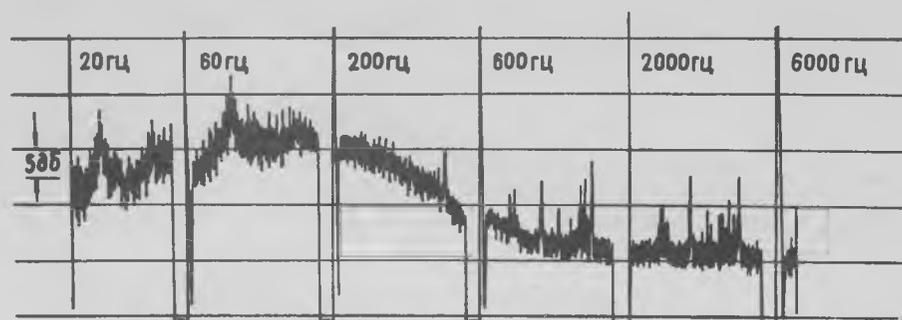
Третий вариант приемника пульсаций давления по принципу работы аналогичен описанному в работе [1] пьезоэлектрическому анемометру. Авторы работы считают, что описанный ими прибор регистрирует пульсации скорости.

Мы, к сожалению, не имели возможности сравнить показания нашего прибора с показаниями термоанемометра. Однако мы сравнивали его показания (спектр пульсаций) с показаниями приемника пульсаций давления, смонтированного вровень с обтекаемой поверхностью. Оказалось, что показания нашего прибора совпадают с показаниями пристеночного приемника пульсаций давления, если параметры обтекающих их турбулентных потоков одинаковы. Спектры турбулентности, зарегистрированные пристеночным приемником, нашим прибором (третий вариант), и совмещенные спектры показаны на рис. 5(а, б, в). Видно, что эти спектры практически совпадают. Совпадают также зависимости уровней пульсаций, зарегистрированных пристеночным приемником и третьим вариантом нашего приемника, от скорости турбулентного потока. Поэтому мы считаем, что наш прибор регистрирует пульсации давления, а не скорости.

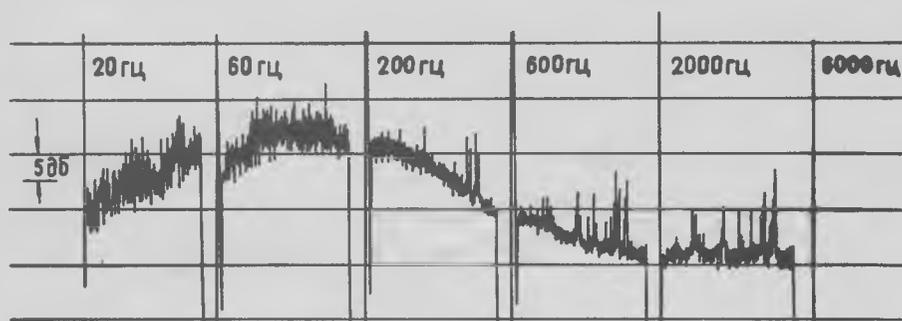
Недостатком третьего варианта приемника является то, что его тонкий чувствительный элемент (вернее, часть элемента, выступающая из корпуса) ничем не защищен и легко может быть сломан. Особенно это существенно при проведении измерений на дельфинах.

Чувствительный элемент может быть защищен от механических повреждений с помощью двух обтекаемых выступов в передней части корпуса приемника, охватывающих с боков выступающую часть элемента. При этом большая, чем в предыдущем случае, часть чувствительного элемента оказывается покрытой герметизирующей замазкой, отчего чувствительность приемника снижается почти на порядок.

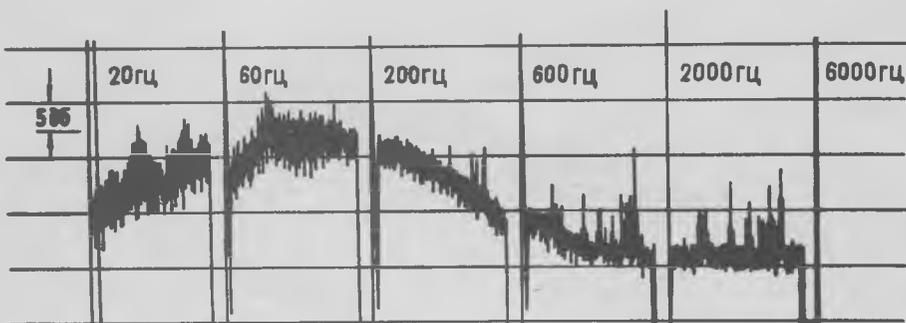
Несколько замечаний по поводу усилительного каскада, встроенного в корпус приемника пульсаций давления (второй и третий варианты). Схема усилителя приведена на рис. 6. Часть схемы, обведенная пунктиром, встроена в корпус приемника. Нагрузочное сопротивление смонтировано в месте размещения основной измерительной це-



а)



б)



в)

Рис.5. Спектры турбулентных пульсаций давления, зарегистрированные:
 а) пристеночным приемником;
 б) приемником пульсаций давления (третий вариант);
 в) совмещенные спектры

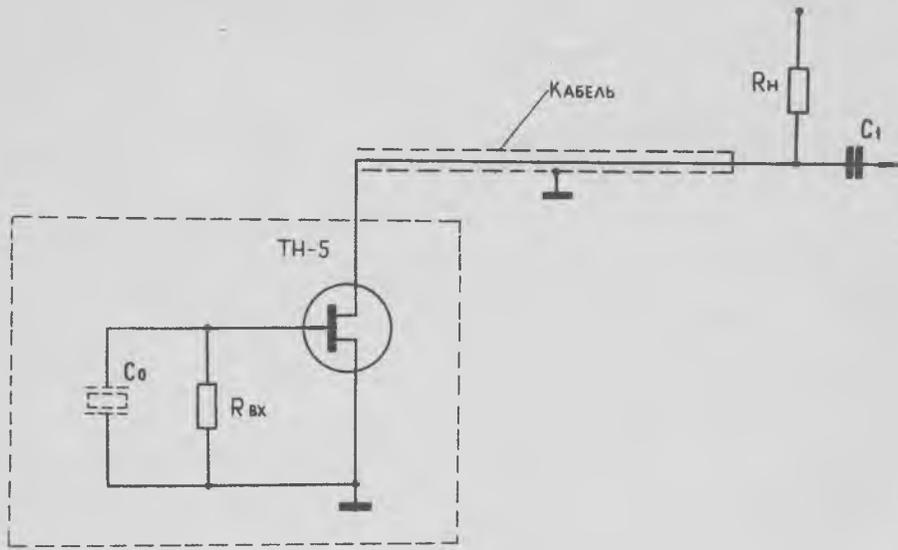


Рис.6. Схема усилителя

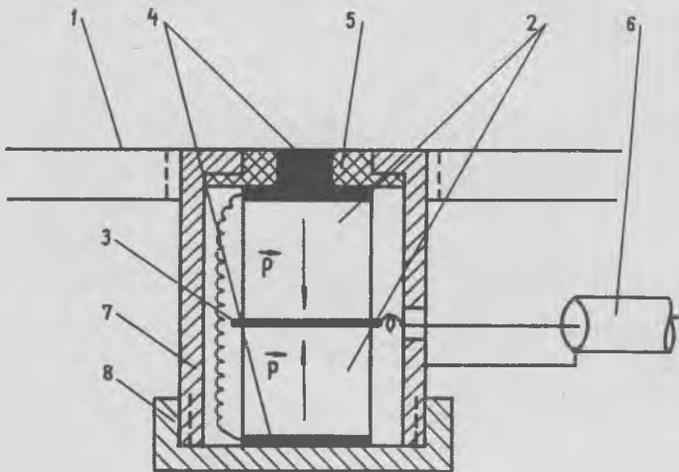


Рис.7. Эталонный приемник пульсаций давления

пи. Кабель служит для передачи не только полезного сигнала от приемника к цепи, но и питающего напряжения от измерительной цепи к транзистору, встроенному в корпус приемника. Коэффициент усиления каскада около 5. Собственный шум каскада, приведенный ко входу, составляет 5-7 мкв в полосе частот до 20 кгц. Входное сопротивление до 100-150 Мом.

Приемники пульсаций давления могут работать и без встроенных усилительных каскадов (как в первом варианте). В этом случае кабель является нагрузкой чувствительного элемента. При собственной емкости чувствительного элемента 20-30 пф и емкости кабеля 80-100 пф становится заметным шунтирующее действие кабеля. В результате чувствительность приемников без встроенного усилительного каскада оказывается в 4-5 раз меньше.

Наличие встроенного усилительного каскада оказывается полезным еще в одном отношении. Усилительный каскад исключает микрофонный эффект кабеля, так как кабель шунтирован нагрузочным сопротивлением каскада, составляющим 5-10 ком.

Градуировка первого варианта приемника пульсаций давления осуществлялась методом пистонфона [2].

Градуировка приемников второго и третьего вариантов проводилась методом сравнения с градуированным приемником пульсаций давления, вмонтированным вровень с обтекаемой поверхностью (эталонный приемник). Градуировка эталонного приемника также осуществлялась методом пистонфона.

Устройство эталонного приемника показано на рис.7. Приемник пульсаций монтируется вровень с обтекаемой поверхностью 1. Чувствительный элемент приемника 2 склеен из двух столбиков высотой 5 мм и сечением 2,5x2,5 мм из керамики ЦТС таким способом, что векторы поляризации \vec{P} направлены навстречу друг другу. Таким образом, столбики электрически соединены параллельно. Общий электрод 3 столбиков соединен с центральной жилой кабеля 6 и через его посредство со входом низкочастотного усилителя. Электроды 4 соединены с корпусом приемника 7 через крышку 8. Верхний электрод выведен наружу через герметизирующую резиновую прокладку 5 и служит приемной поверхностью. Диаметр вывода около 1 мм. Диаметр прокладки 2,5 мм. Эффективный диаметр приемной поверхности составляет 1,5-2 мм. Такой размер приемной поверхности позволяет практически без искажений регистрировать пульсации давления в диапазоне частот 1-2 кгц при скорости набегающего потока от 100 см/сек и выше.

При градуировке эталонный и испытуемый приемники поочередно подключаются к одному и тому же усилителю и производятся измерения уровня и спектра пульсаций давления в турбулизированном по-

граничном слое. Чувствительные элементы приемников находятся не в одной и той же точке пограничного слоя, они разделены расстоянием в 2,5 мм. Это, вообще говоря, может служить источником погрешности при градуировке. Однако измерения уровня пульсаций давления в различных точках по толщине пограничного слоя показали, что толщина его около 30 мм и изменения уровня и спектра пульсаций вблизи стенки в пределах 10-15 мм пренебрежимо малы.

Градуировка описанными методами позволила не только определить чувствительность приемников пульсаций давления, но и проверить их резонансные свойства. Оказалось, что в исследованном диапазоне частот 20 гц - 10 кгц приемники пульсаций давления не имеют резонансов.

Л и т е р а т у р а

1. С и д д о н , Р и б н е р . Датчик из фольги для измерения поперечной компоненты турбулентных пульсаций. "Ракетная техника и космонавтика", 1965, 3, 4, 217-218.

2. М я с н и к о в Л.Л. Акустические измерения. Л.-М., ОНТИ НКТП СССР, 1937.

Статья поступила в апреле 1971 г.
