

## СНИЖЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОМЕХ АНТЕНН С ВЕКТОРНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ

**А. П. МАКАРЕНКОВ, В. А. ВОСКОБОЙНИК**

*Институт гидромеханики НАН Украины, Киев*

In the report are resulted experimental researches on hydrodynamic noise reduction of pressure gradient hydrophone aerials of drifting hydroacoustic stations. Flow processes of the small-sized aerial are considered. The influence of a flow velocity on a level of noise spectrum is investigated. Noise reduction means and constructions are offered and approved. Their action is directed on reduction of scales of vortex systems – noise sources that has allowed lowering their intensity essentially.

### ВВЕДЕНИЕ

В практике гидроакустических средств пассивной локации широко используются автономные дрейфующие гидроакустические станции (ГАС) одноразового использования. В них в качестве приемных элементов антенн применяются векторные приемники градиента давления. Как правило, антенны на их основе имеют достаточно простую конфигурацию. Это короткие цилиндры, внутри которых по двум взаимно перпендикулярным горизонтальным осям установлены приемники градиента давления. Такое расположение векторных приемников в антенне и дополнительного гидрофона позволяет формировать диаграмму направленности в виде кардиоиды [1 – 3].

Сами ГАС состоят из антенны, приборного контейнера, расположенного вблизи нее, в котором производится усиление, фильтрация и обработка сигналов и второго контейнера – поплавка, с радиопередающими устройствами. Между опускаемым в море контейнером с антенной и контейнером-поплавком расположены линии связи и демпфирующие устройства. Последние предназначены для подавления механических колебаний, возникающих при взаимодействии контейнера-поплавка с волнами, и являющихся источниками вибрационных помех, которые передаются по линиям связи на антенну.

При дрейфе ГАС данного типа обтекаются потоком воды со скоростями не более 0.5 м/с, что приводит к силовому взаимодействию антенны и приборного контейнера с потоком жидкости. Это обуславливает возникновение нестационарных пульсаций скорости и давления, которые являются источниками гидродинамических помех. Как правило, приборный контейнер и антенна выполняются из цилиндров малого удлинения. Плохо обтекаемая форма и указанные скорости потока (число Рейнольдса  $Re_D < 5 \cdot 10^4$ ) порождают отрыв пограничного слоя с их поверхности, особенностью которого является то, что помехи, генерируемые им, сосредоточены в диапазоне низких частот (до 120 Гц). В этом же диапазоне находятся рабочие частоты ГАС. Поскольку уровни гидродинамических помех достаточно высокие, то эффективность антенн без использования средств защиты низкая. Поэтому вопрос снижения гидродинамических помех для данного вида ГАС был и остается актуальным. Теоретических исследований, в которых был бы указан путь его решения, пока нет. В известных нам работах эта проблема решается с помощью экспериментальных исследований различных средств защиты и снижения гидродинамических помех [4 – 6]. Как было установлено [7-10], наиболее интенсивные крупномасштабные вихревые отрывные

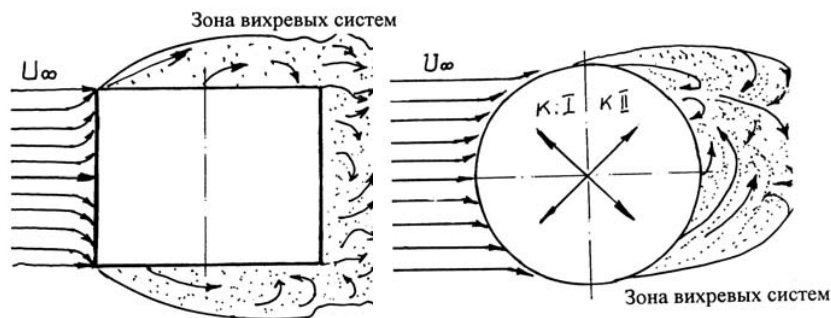


Рис. 1. Схема обтекания цилиндра малого удлинения

системы при обтекании коротких цилиндров  $L/D < 3$  формируются как в их кормовой части, так и по торцам. Схема обтекания цилиндра малого удлинения представлена на рис. 1.

Основной задачей, которая была решена при проведении настоящих исследований, было целенаправленное воздействие на вихревые системы, возникающие при обтекании

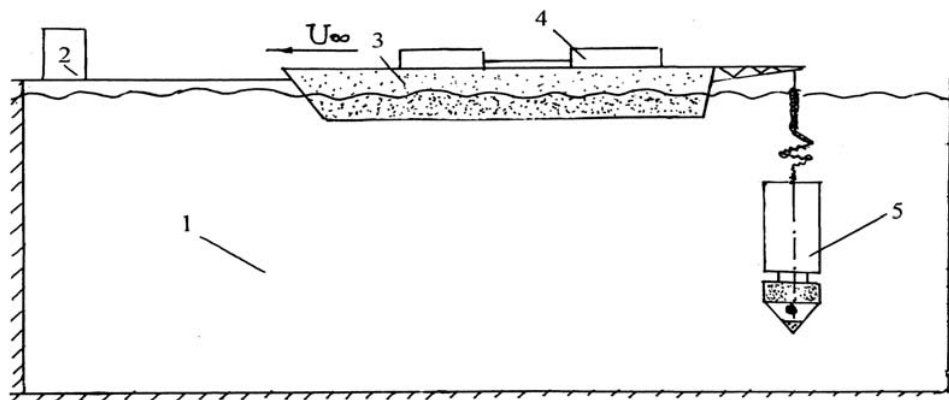


Рис. 2. Схема буксировочного стенда: 1 – бассейн, 2 – устройство буксировки, 3 – катамаран, 4 – система регистрации данных, 5 – измерительный макет антенны и приборного контейнера, а именно, изменение их пространственного масштаба и интенсивности с целью снижения гидродинамических помех.

### 1 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования по снижению гидродинамических помех на основе векторных приемников были проведены в Опытном бассейне ИГМ НАНУ. В исследованиях использовался полноразмерный макет, опускаемой части, дрейфующей ГАС авиационного типа (антенна с приборным контейнером). Эти исследования выполнялись на специально разработанном малозумном стенде для испытания гидроакустических устройств [11]. Принципиальная схема стенда изображена на рис. 2, здесь же приведены обозначения его основных узлов. Следует указать, что корпуса катамарана, к которому прикреплялась опускаемая часть гидроакустической станции, были изготовлены из звукопоглощающего материала. Макет к катамарану был подвешен на глубину 1.6 м посредством тонких лонжей, защищенных мягкой проницаемой сетчатой оболочкой.

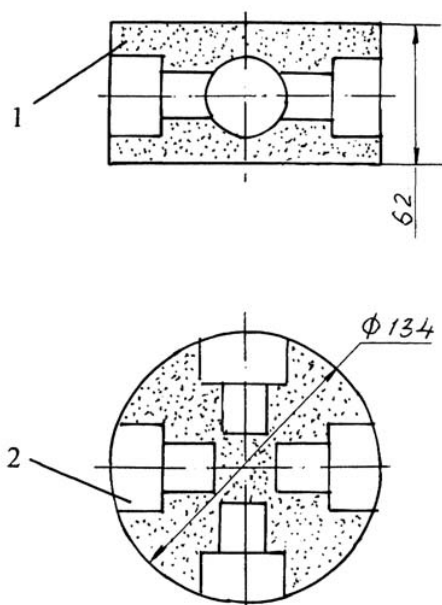


Рис. 3. Схема конструкции антенны:  
1 – корпус, приемники градиента давления

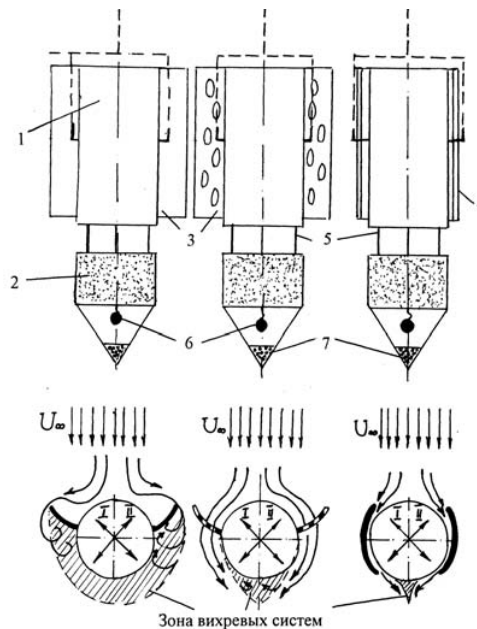


Рис. 4. Схемы средств защиты: 1 – приборный контейнер, 2 – антенна, 3 – крылья, 4 – закрылки, 5 – лонжи, 6 – гидрофон, 7 – балласт

Антенна - короткий круговой цилиндр удлинением  $L/D=0.5$ , внутри которого установлены по взаимно ортогональным осям векторные приемники градиента давления электродинамического типа (рис. 3). К верхней части антенны прикреплены три тонких эластичных лонжа, обеспечивающих подвеску ее к приборному контейнеру (цилиндр удлинением  $L/D=2$ ). На контейнере установлены крылья – стабилизаторы и с помощью трапецевидной подвески он, через резиновый лонж, крепился к кронштейну катамарана. В нижней части антенны установлен приемник звукового давления (гидрофон) и балласт, обеспечивающий ей вертикальное положение.

В процессе обтекания выполнялись два условия:

- скорость потока была постоянной в процессе регистрации гидродинамических помех.

- антенна обтекалась в вертикальном положении, а оси максимальной чувствительности приемников располагались под углом  $45^\circ$  относительно вектора скорости.

Техническая задача снижения гидродинамических помех антенны с векторными приемниками решалась путем использования пассивных средств защиты и определения минимального уровня сигналов, регистрируемых приемниками. Были исследованы следующие средства защиты: проницаемые крылья – стабилизаторы, закрылки (формирующие и направляющие поток в кормовую часть контейнера), и проницаемые торцевые фланцы (рис. 4 и рис. 5). Следует отметить, что крылья и закрылки устанавливались под углом  $7^\circ$  к оси контейнера для изменения направления движения части

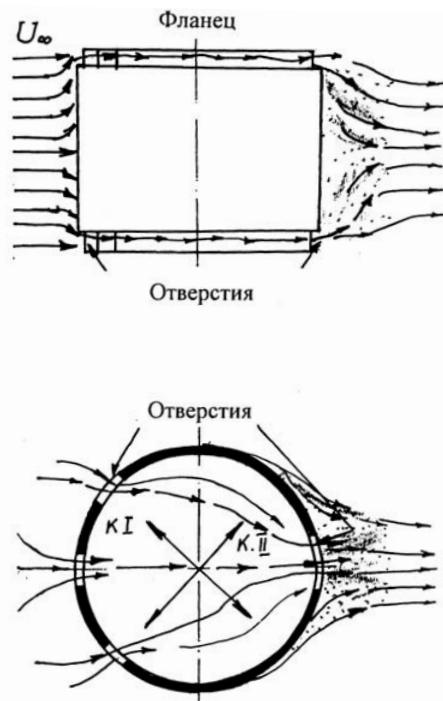


Рис. 5.Обтекание проницаемого торцевого фланца

потока жидкости вдоль образующих контейнера и антенны, чтобы воздействовать на отрыв пограничного слоя.

Регистрация сигналов, поступающих с приемных элементов антенны, осуществлялась посредством измерительного четырехканального магнитофона типа 7005А фирмы “Брюль и Кьер”. Последующая обработка сигналов выполнялась с помощью двухканального спектроанализатора типа 2034, указанной фирмы, в диапазоне частот от 4 Гц до 100 Гц. Погрешность измерений не превышала 2 дБ в исследуемом диапазоне частот.

В основу методики настоящих исследований было положено сопоставление спектральных уровней гидродинамических помех при обтекании опускаемой части ГАС для различных скоростей и защитных устройств.

## 2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перед проведением исследований были измерены собственные шумы Опытного бассейна с помощью ненаправленного пластинчатого гидрофона, который подвешивался на лонже к

катамарану на глубине 1.6 м от поверхности воды в центре бассейна. Установлено, что уровни шумов бассейна близки к нижней границе преобладающих шумов моря.

Процесс обтекания опускаемой части ГАС определяет уровни гидродинамических помех. Обнаружено, что с ростом скорости происходит увеличение спектральных составляющих помех во всем исследуемом диапазоне частот. Это видно на рис. 6, где представлены спектры помех для двух скоростей обтекания (0.12 м/с и 0.27 м/с) и шумов бассейна (кривые 1, 2 и 3, соответственно). Следует отметить, что спектральные уровни сигналов по каждому из каналов, при обтекании с постоянной скоростью, оставались практически одинаковыми. Повышение скорости обтекания в 2.25 раза приводит к росту помех на 14 дБ (в 4.8 раза).

Применение средств защиты, таких как проницаемые крылья и закрылки, установленные под углом  $7^\circ$  к образующей контейнера, позволило уменьшить уровень собственных гидродинамических помех, возникающих при обтекании антенны и контейнера, на величину 8 дБ и 15 дБ (рис. 7). С физической точки зрения снижение гидродинамических помех вызвано следующим. Во-первых, проницаемые крылья и закрылки направляют дополнительную массу жидкости в зоны формирования отрывного течения, повышая этим местное давление. Как известно, пониженное давление в кормовой части плохо обтекаемого тела является первопричиной отрыва пограничного слоя и возникновения вихревых структур. Эти явления порождают нестационарные силы в вихревом потоке жидкости и, в конечном итоге, приводят к возникновению интенсивных гидродинамических помех.

Установка крыльев и закрылков под углом  $7^\circ$  приводит к трансформации и разрушению крупномасштабных отрывных вихревых структур. Это проиллюстрировано на рис. 7, где уменьшение уровней гидродинамических помех достигло 15 дБ или 5.5 раза.

При обтекании цилиндров малого удлинения отрыв потока происходит не только в кормовой его части, но и над торцевыми поверхностями. В работе [4] приведены фотографии визуализации торцов цилиндра при разных числах Рейнольдса, где видно, что на них возникает интенсивное циркуляционное вихревое течение. В работах [2, 5] приведены результаты экспериментальных исследований, где показано, что с помощью модификации торцевых поверхностей (полусферическая форма) можно целенаправленно воздействовать на эти низкочастотные крупномасштабные вихревые структуры. В работе [5] показано уменьшение уровней пульсационных сил на (10...12) дБ или в (3...4) раза. Подобный метод снижения гидродинамических помех для нашего случая – неприемлем, так как при этом необходимо существенно увеличить высоту антенны. Нами предложен другой способ воздействия на отрыв пограничного слоя, который формируется на обтекаемых торцевых поверхностях коротких цилиндров, а именно, использование проницаемых фланцев, рис. 5. При обтекании антенны с такими фланцами жидкость входит во внутреннюю полость фланца через три отверстия, а вытекает из одного, расположенного в кормовой части антенны. Это создает направленное струйное течение над торцевой поверхностью антенны, что существенно изменяет характер отрывного течения. По нашему мнению происходит разрушение крупномасштабных поперечно ориентированных торцевых вихрей и трансформация их в мелкомасштабные структуры. Поэтому уменьшается интенсивность низкочастотных вихревых систем и перераспределяется энергия вихревого потока из низкочастотной области спектра в высокочастотную область, в соответствии с каскадным механизмом. Результаты экспериментальных исследований подтверждают наши предположения. На рис. 8 кривая 1 - гидродинамические помехи, регистрируемые приемниками градиента давления, при использовании сплошных крыльев и непроницаемых фланцев. Кривая 2 соответствует случаю проницаемых крыльев и фланцев. Кривая 3 относится к варианту, где используются закрылки и проницаемые фланцы. Нетрудно заметить, что сочетание закрылков и проницаемых фланцев позволяет уменьшить уровни гидродинамических помех на 20 дБ (10 раз).

В заключении отметим, что интегральное действие изменения направления движения части набегающего потока и струйного течения, формируемого проницаемыми крыльями, закрылками и проницаемыми фланцами, позволило существенно изменить картину обтекания опускаемой части ГАС. При этом происходит трансформация вихревого течения и перераспределение энергии потока из низкочастотной области спектра в высокочастотную область за счет разрушения высокоинтенсивных крупномасштабных вихревых систем и образования мелкомасштабных вихрей. Это приводит к значительному уменьшению уровней гидродинамических помех антенны в исследуемом диапазоне частот.

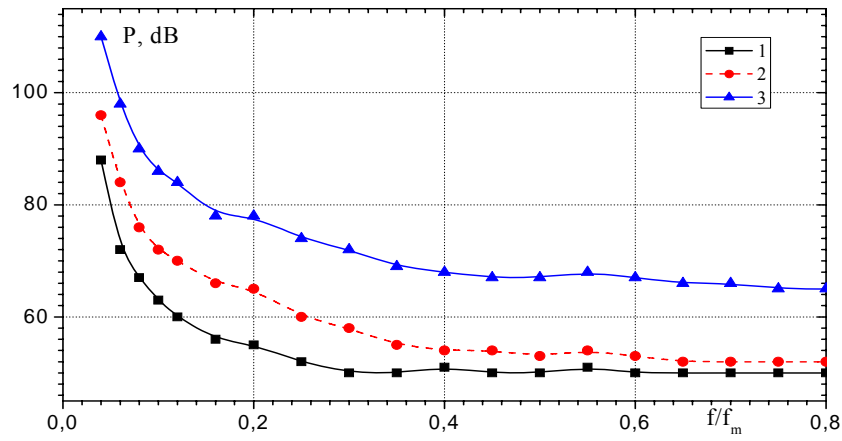


Рис. 6. Влияние скорости обтекания на спектральные уровни

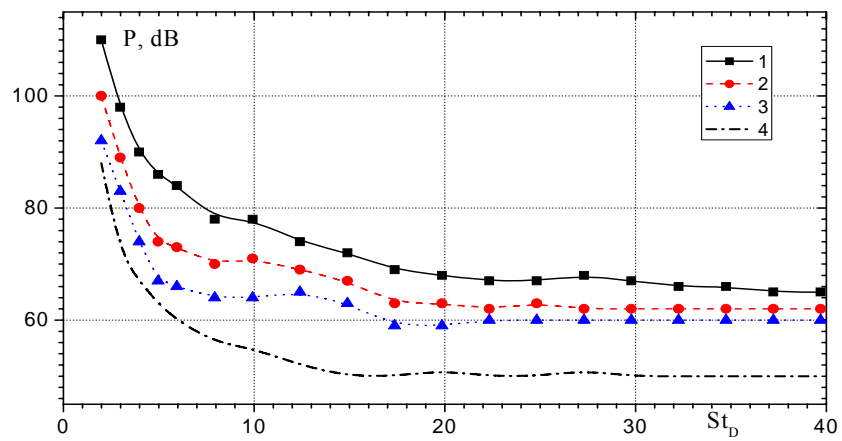


Рис. 7. Влияние крыльев и закрылков

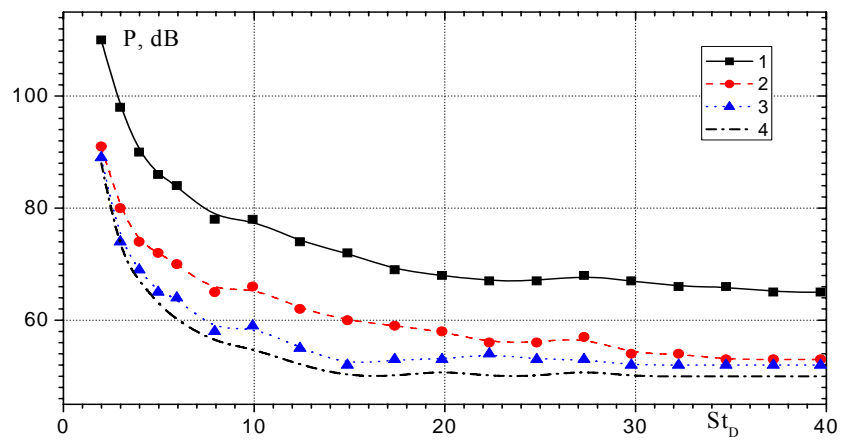


Рис. 8. Влияние проницаемого торцевого фланца

## ВЫВОДЫ

Экспериментальные исследования гидродинамических помех антенны дрейфующей ГАС, с векторными приемниками градиента давления, и средств их снижения установили:

1. Источниками гидродинамических помех являются вихревые структуры отрывного обтекания, формируемые в кормовых и торцевых областях приборного контейнера и антенны. Их уровни и спектральные характеристики определяются скоростью обтекания.

2. Получено максимальное снижение гидродинамических помех на 20 дБ (10 раз) при использовании комбинированного устройства защиты, состоящего из закрылков, установленных под углом  $7^\circ$  относительно образующей приборного контейнера, и проницаемых торцевых фланцев.

## ЛИТЕРАТУРА

1. McConnell J.A., Haberman R.C., McCormick T.A., Rudzinsky J. Forming first- and second-order cardioids with multimode hydrophones (A) // *JASA*. – 2006. – 119, № 5. – P. 3445-3446.
2. Lauchle, G.C., Wang, J., Howe, M.S. Flow-induced noise on underwater pressure-vector acoustic sensors // *Oceans '02 MTS/IEEE*. – 2002. – 3. – P. 1906-1910.
3. Qi N., Tian T. Acoustic vector hydrophone array supergain energy flux beamforming // *ICSP06*. – 2006. – C04. – P. 1-4.
4. Keller B.D. Gradient hydrophone flow noise // *JASA*. – 1977. – 62, № 1. – P. 205-208.
5. Finger R.A., Abbagnaro L.A., Bauer B.B. Measurements of low-velocity flow noise on pressure and pressure gradient hydrophone // *JASA*. – 1979. – 65, № 6. – P. 1407-1412.
6. McEachern J.F., Lauchle G.C. Flow-induced noise on a bluff body // *JASA*. – 1995. – 97, № 2. – P. 947-953.
7. Baban F., So R.M.C. Recirculating flow behind and unsteady forces on finite-span circular cylinders in a cross-flow // *J. Fluids Struct.* – 1991. – 5. – P. 185-206.
8. Williamson C.H.K. Vortex dynamics in the cylinder wake // *Annu. Rev. Fluid Mech.* – 1996. – 28. – P. 477-539.
9. So R.M.C., Zhou Y., Liu M.H. Free vibrations of an elastic cylinder in a cross flow // *Exp. Fluids*. – 2000. – 29. – P. 130-144.
10. Sagrado A.G., Hynes T., Hodson H. Experimental investigation into trailing edge noise sources // *AIAA Pap.* 2006-2476. – 2006. – 2476. – P. 1-22.
11. Гринченко В.Т., Макаренко А.П., Виноградный Г.П., Адамов А.И. Стенд для испытаний гидроакустических устройств // *Авторское свид. СССР*. – 1983. - № 1117474. – С. 1-2.