

УДК 532.526

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ШУМЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ДРЕЙФУЮЩЕЙ АНТЕННЫ И СРЕДСТВА ИХ СНИЖЕНИЯ

© В.Т. Гринченко, А.П. Макаренко, В.А. Воскобойник, 2006

Институт гидромеханики НАН Украины, г. Киев

Представлено результати експериментальних досліджень засобів, які зменшують гідродинамічний шум обтікання вертикальної антени, яка дрейфує. Наведено низку пасивних засобів зменшення перешкод в вигляді обтікачів гідрофонів та зроблено співставлення їх ефективності. При малих швидкостях обтікання (0,1...0,2) м/с найбільш ефективним пристроєм, який зменшує гідродинамічні перешкоди гідрофонів, є чечевицеподібний обтікач. При більш високих швидкостях обтікання (0,4...0,5) м/с переважно використовувати флюгероподібний обтікач, який покритий сіткою. Розглянута фізична модель процесу обтікання дискових гідрофонів та засобів їх захисту.

Представлены результаты экспериментальных исследований средств, снижающих гидродинамические шумы обтекания вертикальной дрейфующей антенны. Приведен ряд пассивных средств снижения помех в виде обтекателей гидрофонов и осуществлен сопоставительный анализ их эффективности. При малых скоростях обтекания (0,1...0,2) м/с наиболее эффективным устройством, снижающим гидродинамические помехи гидрофонов, является чечевицеобразный обтекатель. При более высоких скоростях обтекания (0,4...0,5) м/с предпочтительнее использовать флюгероподобный обтекатель, покрытый сетчатой оболочкой. Рассмотрена физическая модель процесса обтекания дисковых гидрофонов и средств их защиты.

The experimental research results of the means of the hydrodynamic reduction noise of the vertical drifting aerial are submitted. A number of the passive means of the noise reduction as the hydrophone cowls is resulted and the comparative analysis of their efficiency is carried out. The most effective device reducing the hydrodynamical noise of the hydrophones is the lentil-like cowl at low flow velocity (0,1...0,2) m/s. The weathercock cowl covered with the mesh environment more preferable uses at higher flow velocity (0,4...0,5) m/s. The physical model of the streamlined process of the disk hydrophones and means of their reduction is considered.

ВВЕДЕНИЕ

Автономные дрейфующие станции пассивного типа получили широкое распространение в практической гидроакустике [1 – 3]. В них для приема полезного сигнала используются линейные антенны с вертикально расположенными приемниками (гидрофонами). Местоположение гидрофонов в антенне обеспечивается с помощью тонких гибких элементов связи, представляющих собой гибкие нити. К ним же прикрепляются электрические проводники. При дрейфе антенны формируется отрывное обтекание на ее плохо обтекаемых элементах, хотя скорости дрейфа невелики (до 0,5 м/с). Характерной особенностью такого течения является возникновение вихревых структур, которые приводят к нестационарным пульсациям давления и сил, что порождает вибрационные и псевдозвуковые, главным образом, помехи приемных элементов антенны [4, 5]. Эти помехи сосредоточены в диапазоне низких частот от единиц герца до килогерца, а уровни могут существенно превышать (до (20...30) Дб) уровень полезного сигнала. Поэтому задача снижения помех гидродинамической природы таких антенн целесообразна и актуальна. Она требует порой оригинальных и нетривиальных решений, принимая во внимание то обстоятельство, что не существует теоретических решений, которые могли бы дать практические рекомендации по снижению гидродинамических помех на такого класса антеннах. Целью настоящей работы является разработка и экспериментальное исследование

эффективности средств снижения гидродинамических помех гидрофонов вертикальной дрейфующей антенны. Основной идеей, которая была использована при проведении настоящих исследований – это целенаправленное частотное перераспределение и уменьшение энергетического уровня спектральных характеристик источников турбулентных псевдозвуковых пульсаций давления, генерируемых при обтекании гидрофонов антенны.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Экспериментальные исследования проводились в Опытном бассейне Института гидромеханики НАН Украины [6]. Бассейн длиной 50 м, шириной 7 м и глубиной 3 м оборудован малозумной гравитационной системой. Гравитационная система – это система, которая использует силу гравитационного притяжения груза, поднятого на определенную высоту. После освобождения груз падает в специально сделанную шахту и увлекает за собой прикрепленный к нему трос, который через систему малозумных блоков соединен с хорошо обтекаемым катамараном (рис. 1).

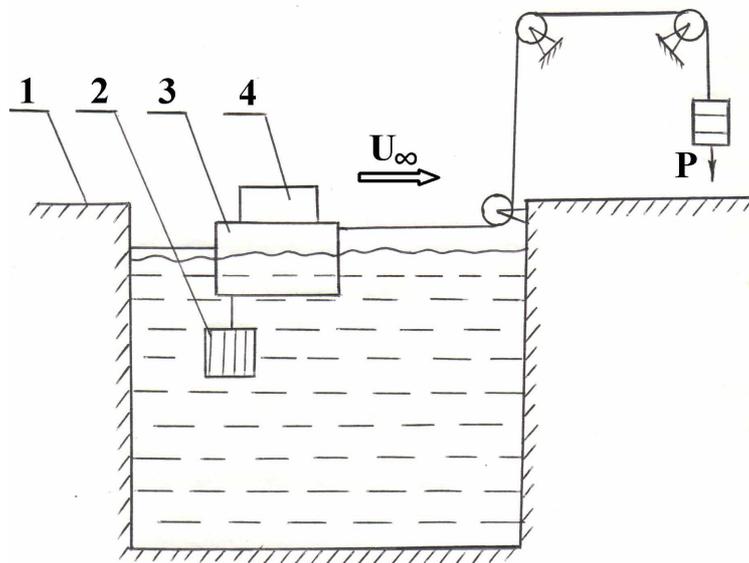


Рис. 1. - Схема экспериментальной установки и системы гравитационной буксировки:
1 – бассейн; 2 – модель антенны; 3 – плавучая платформа;
4 – измерительная и регистрирующая аппаратура

В кормовой части катамарана, через ряд виброкомпенсированных кронштейнов и подвесок, устанавливается исследуемая модель вертикальной гидроакустической антенны на заданной глубине. Скорость буксировки в Опытном бассейне изменялась от 0,1 м/с до 0,6 м/с. На катамаране, в специально сделанных механизмах крепления и кронштейнах, устанавливалась контрольно-измерительная и регистрирующая аппаратура, а также система автономного питания электронной аппаратуры (рис. 2). В кормовой части катамарана к выносной платформе через резиновые лонжи (нити) подсоединялись исследуемые гидроакустические приемники. Для придания вертикального положения и стабилизации движения антенны к ее нижней части крепился стабилизирующий груз, имеющий хорошо обтекаемую форму.

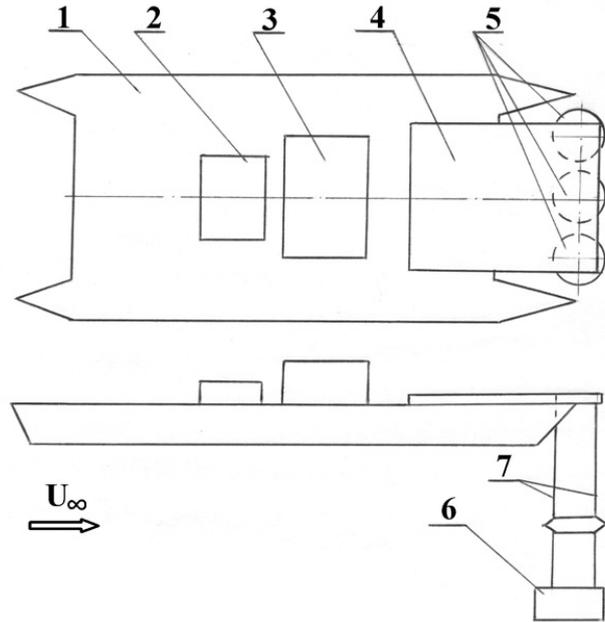


Рис. 2. - Схема расположения вертикальной антенны и вспомогательного оборудования:
 1 – катamarан; 2 – электронная аппаратура; 3 – система автономного питания;
 4 – система подвески; 5 – антенна; 6 – груз; 7 – резиновые лонжи

Исследуемые модели линейных антенн состояли из шести однотипных гидрофонов, подвешенных в виде вертикальной гирлянды на расстоянии около $30 \cdot 10^{-3}$ м. В качестве эталонной использовалась подвеска из дисковых гидроакустических приемников диаметром $42 \cdot 10^{-3}$ м и толщиной $12 \cdot 10^{-3}$ м, чувствительная поверхность которых устанавливалась вдоль по потоку. Исследуемыми формами гидрофонов были приемники с обтекателями в виде чечевицы, кольца (шайбы) или флюгера с сетчатой оболочкой и без нее. Вид обтекателей, используемых в измерениях, и их геометрические размеры показаны на рис. 3.

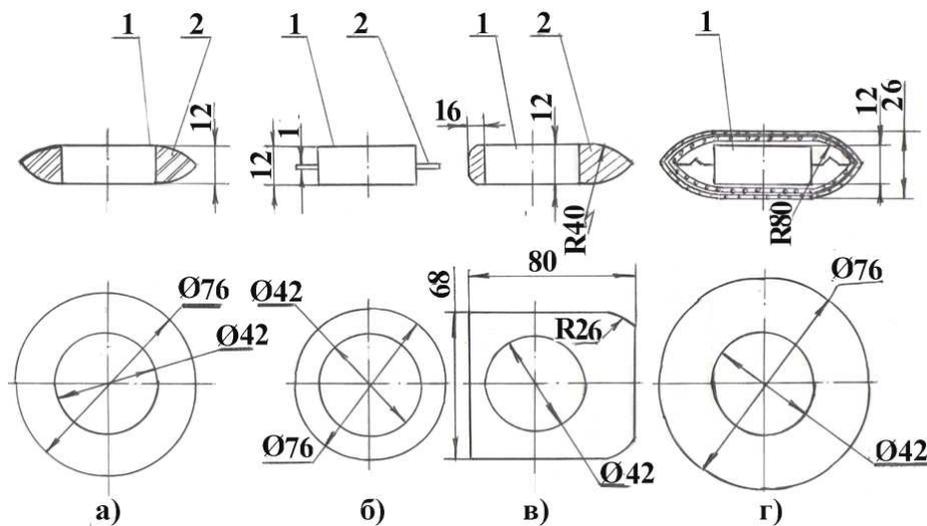


Рис. 3. - Эскиз конструкции используемых дисковых гидрофонов и средств их защиты от гидродинамических шумов:
 а) – чечевицеобразный обтекатель; б) – кольцевой обтекатель; в) – флюгероподобный обтекатель;
 г) – гидрофон в сетчатой оболочке; 1 – чувствительный элемент; 2 – обтекатель

Для исследования гидродинамических шумов, обусловленных отрывным обтеканием гидроакустических приемников и системы подвески и стабилизации, применялись малозумные усилители и фильтры нижних и верхних частот. Эти электронные средства измерений, посредством герметичных экранированных кабелей и проводников, соединялись с контрольно-измерительной (осциллографы, вольтметры) и регистрирующей (четырёхканальный измерительный магнитофон) аппаратурой. После проведения измерений, записанные электрические сигналы, подавались на специализированные аналоговые спектроанализирующие комплексы фирмы Брюль и Кьер. На одноканальных и двухканальных спектроанализаторах регистрировались автокорреляционные и автоспектральные статистические характеристики, а также взаимные пространственно-временные функции поля пульсаций давления. Кроме того, электрические сигналы подавались на восьмиканальные 16-битовые аналогово-цифровые преобразователи, которые позволяли оцифровывать данные и регистрировать их на персональных компьютерах. На компьютерах по стандартным и специально разработанным программам экспериментальные данные обрабатывались и анализировались. Полученные результаты в виде таблиц и графиков распечатывались на графопостроителях и принтерах.

Исследуемые гидрофоны перед проведением измерений, в ходе их и после окончания работ калибровались и тестировались абсолютным и относительным методами в ближнем и дальнем акустическом поле. Калибровочные зависимости и кривые использовались при определении чувствительности гидрофонов, имеющих различные формы обтекателей, а также учитывались при обработке и анализе экспериментальных данных.

Погрешность измерений интегральных характеристик поля пульсаций давления, регистрируемого используемыми гидроакустическими приемниками, не превышала 10 % при достоверности 0,95 или 2σ в исследуемом диапазоне скоростей буксировки. Спектральные характеристики пульсаций давлений регистрировались с погрешностью, не превышающей 2 дБ, относительно $2 \cdot 10^{-5}$ Па в частотном диапазоне от 2 Гц до 1000 Гц.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Прежде чем провести буксировочные испытания различных видов и форм обтекателей гидрофонов вертикальной антенны были исследованы гидроакустические шумы Опытного бассейна. Для этого гирлянда эталонных гидрофонов (без обтекателей) располагалась в ряде мест (5 вертикалей) вдоль траектории буксировки и регистрировался гидродинамический шум бассейна в условиях тишины. На рис. 4 приведены характерные уровни шумов моря (кривая 1 и 2), уровни шумов от дальнего (кривая 3 и 4) и ближнего (кривая 5) судоходства, а также шумы Опытного бассейна, полученные в данных исследованиях (кривая 6). Из представленных зависимостей следует, что шумы в Опытном бассейне расположены ближе к нижней границе преобладающих шумов моря, за исключением инфранизких частот, которые имеют высокие уровни. Это связано с тем, что область этих частот в спектрах гидроакустических шумов бассейна обусловлена работой оборудования, как в самом бассейне, так и в прилегающих лабораториях и мастерских, а также городским шумом от наземного транспорта и линии метрополитена. Как следует из данных рис. 4, на частотах, превышающих (20...30) Гц, гидроакустический шум Опытного бассейна с достаточной степенью точности близок к шумам моря, обусловленным дальним судоходством (см. кривые 3, 4 и 6).

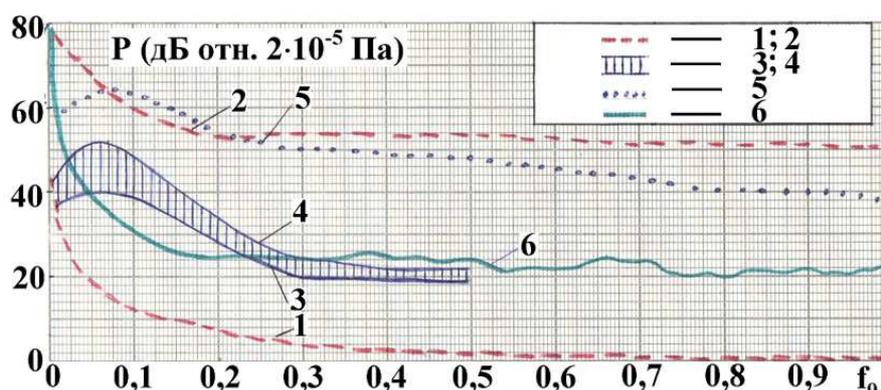


Рис. 4. - Уровни преобладающих гидродинамических шумов моря и Опытного бассейна

При буксировке модели гидроакустической антенны уровни шумов обтекания, воспринимаемые гидрофонами возросли, что видно из данных рис. 5.

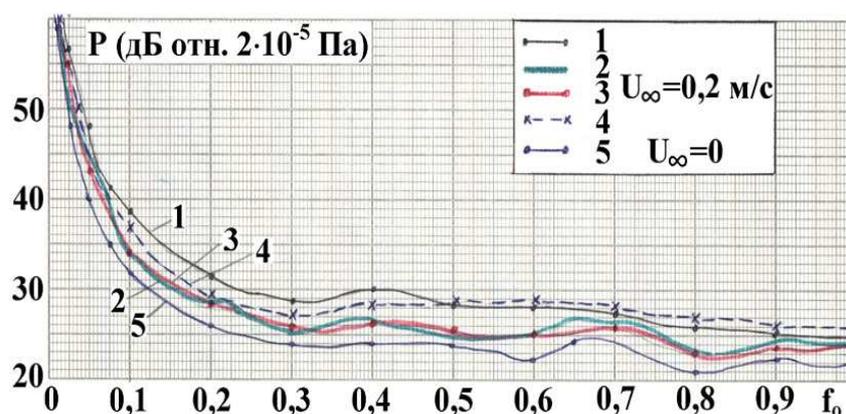


Рис. 5. - Спектры мощности пульсаций псевдозвуковых составляющих гидродинамических шумов вертикальной антенны, буксируемой при скорости обтекания 0,2 м/с

На этом рисунке представлены уровни пульсаций давления, показанные в дБ, относительно $2 \cdot 10^{-5}$ Па, в зависимости от безразмерной частоты $f_0 = f / (1000 \text{ Гц})$ для скорости буксировки 0,2 м/с. Кривая 1 получена для гирлянды эталонных гидрофонов, кривая 2 – для обтекателя чечевицепоподобной формы, кривая 3 – для кольцевого обтекателя, кривая 4 – для флюгерообразного обтекателя в мелкоячеистой сетке и кривая 5 – фоновый шум Опытного бассейна. Как следует из рис. 5, использование обтекателей чечевицепоподобной и кольцевой формы позволяет снизить гидродинамический шум на (8...12) дБ, практически, во всем исследуемом диапазоне частот относительно шума, регистрируемого гирляндой эталонных гидрофонов. Применение флюгерообразного обтекателя с сеткой незначительно снижает шум в низкочастотной области, но увеличивает его в высокочастотной. Это обусловлено тем, что такой обтекатель разрушает крупномасштабные низкочастотные вихревые структуры, отрывающиеся от обтекаемого тела, но увеличивает число мелкомасштабных высокочастотных вихрей, формируемых на шероховатой мелкоячеистой сетке. При этом происходит трансформация энергии поля пульсаций от крупномасштабных вихревых систем к мелкомасштабным вихрям [7, 8].

Увеличение скорости буксировки вертикальной антенны приводит к значительному снижению гидродинамических шумов на исследуемых обтекателях, что проиллюстрировано на рис. 6.

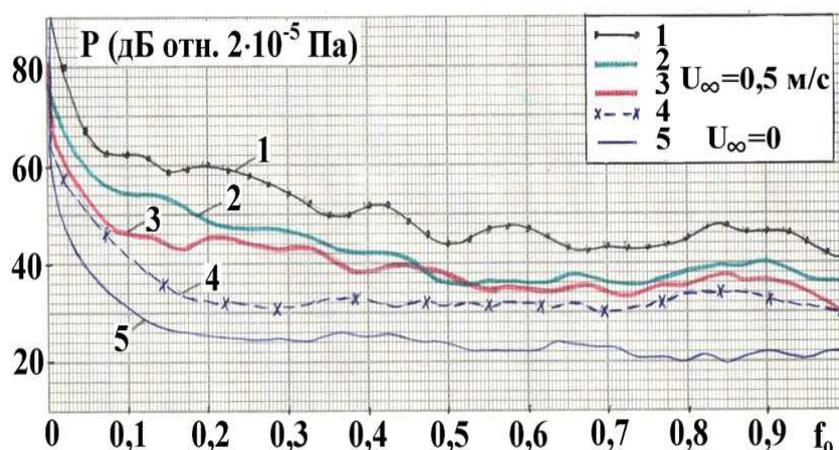


Рис. 6. - Спектры мощности пульсаций псевдозвуковых составляющих гидродинамических шумов вертикальной антенны, буксируемой при скорости обтекания 0,5 м/с

Здесь данные приведены для скорости обтекания 0,5 м/с и нумерация кривых соответствует той, которая дана на рис. 5. Шумы обтекания на гирлянде эталонных гидрофонов увеличились более чем на 30 дБ относительно фонового шума бассейна (при $U_{\infty}=0,2$ м/с только на (10...15) дБ, см. рис. 5). Все исследуемые обтекатели для данного режима буксировки уменьшили регистрируемый гидродинамический шум обтекания относительно эталонных гидрофонов. При этом наибольшее снижение на 28 дБ получено при использовании флюгероподобного обтекателя с сеткой в области средних частот (порядка (200...300) Гц). Чечевицепоподобный и кольцевой обтекатели снижают гидродинамический шум при этом режиме буксировки на (15...20) дБ в исследуемом диапазоне частот, что показано на рис. 6 (см. кривую 2 и 3).

Значительное снижение гидродинамического шума в десятки и более раз, при применении разнообразных обтекателей гидрофонов, в различных частотных полосах позволяет говорить об общем или интегральном снижении гидродинамического шума исследуемыми обтекателями. Для этого определялась площадь под каждой из измеренных спектральных кривых, которая равна среднеквадратичному значению пульсаций давления. Ненормированные среднеквадратичные пульсации давления, измеренные гидрофонами, как с обтекателями, так и без них показаны на рис. 7 в зависимости от скорости буксировки вертикальной антенны.

Здесь нумерация кривых для используемых гидроакустических приемников такая же, как и на рис. 5 и 6. С увеличением скорости обтекания интенсивность гидродинамического шума, регистрируемого гидрофонами, растет. На гирлянде эталонных гидрофонов дисковой формы среднеквадратичные значения пульсаций давления пропорциональны скорости набегающего потока в степени (2,3...2,5). На гидрофонах, оборудованных обтекателями, гидроакустический шум в общей полосе частот пропорционален скорости обтекания с меньшим показателем степени пропорциональности. Так, для чечевицепоподобного обтекателя

показатель степени равен (1,5...1,7), для кольцевого обтекателя – (1,2...1,4) и для флюгероподобного обтекателя с сетчатой оболочкой - $p'_{\text{rms}} = (U_{\infty})^{0,3}$.

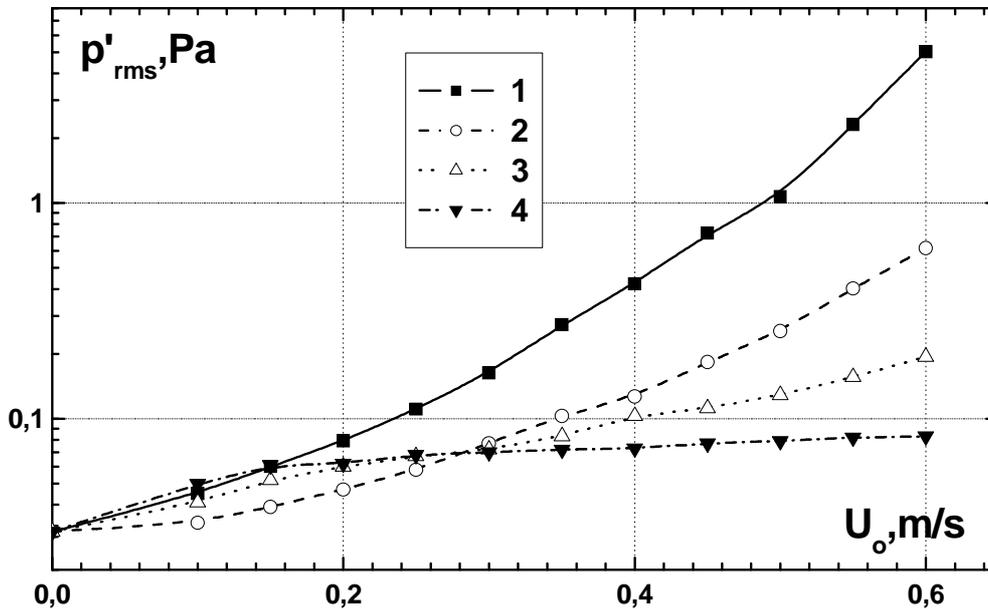


Рис. 7. - Интенсивность гидродинамического шума на исследуемых гидрофонах вертикальной антенны

На малых скоростях дрейфа вертикальной антенны предпочтительно использовать обтекатели чечевицепоподобной формы, которые почти на (40...50) % снижают шум в общей полосе частот. При высоких скоростях дрейфа рационально применять флюгероподобные обтекатели в сетчатой оболочке, которые снижают гидродинамический шум обтекания антенны почти на два порядка. На малых скоростях флюгероподобный обтекатель с сеткой имеет шум несколько выше, чем эталонный гидрофон, из-за того, что на сетчатой оболочке формируются мелкомасштабные вихревые системы, которые в значительной степени увеличивают высокочастотную часть спектра, о чем ранее говорилось.

ВЫВОДЫ

Проведенные экспериментальные исследования по изучению методов и средств снижения гидродинамических шумов обтекания на дрейфующей вертикальной антенне показали, что:

1. Обтекатели гидрофонов разнообразных форм и размеров позволяют снизить гидродинамический шум на дрейфующей вертикальной антенне.
2. Установлено, что для малых скоростей дрейфа антенны лучше использовать чечевицепоподобный обтекатель, который снижает гидродинамический шум на (40...50) % в общей полосе частот. Так, при скорости обтекания 0,2 м/с чечевицепоподобный обтекатель гидрофона снижает шум почти на (8...12) дБ в частотном диапазоне от 200 Гц до 800 Гц.
3. Зарегистрировано, что для больших скоростей дрейфа предпочтительнее использовать флюгероподобный обтекатель в сетчатой оболочке. При этом среднеквадратичное значение пульсаций давления гидродинамического шума, воспринимаемого гидрофоном, уменьшилось более чем на порядок. При скорости обтекания

0,5 м/с гидродинамический шум с таким обтекателем уменьшился почти на 30 дБ в области средних частот (200...300) Гц.

4. Обнаружено, что гидродинамический шум на дисковом гидрофоне без специального обтекателя, который используется в дрейфующих вертикальных антеннах, пропорционален скорости обтекания с показателем степени порядка 2,5. Применение обтекателей понижает показатель степени пропорциональности от 1,6 (для чечевицеподобного обтекателя) до 0,3 (для флюгероподобного обтекателя в сетчатой оболочке).

Литература

1. Thomas M. M., Higley P., Woolsey J. R. A vertical hydrophone array for imaging the hydrate stability zone // AAPG Annu. Convention. – Salt Lake City, Utah, USA, May 11–14, 2003. – P. 1–5.
2. Простаков А. Л. Гидроакустические средства флота.- М.: Воениздат, 1974. - 217 с.
3. Колченданцев А. С. Гидроакустические станции. - Л.: Судостроение, 1982. - 307 с.
4. Гринченко В. Т., Макаренко А. П., и др. Стенд для испытаний гидроакустических устройств // Авторское свидетельство СССР. - № 1117474. - 1983. - С. 2.
5. Миниович И. Я., Перник А. Д., Петровский Б. С. Гидродинамические источники звука. - Л.: Судостроение, 1972. - 478 с.
6. Гринченко В.Т., Макаренко А.П., Воскобойник В.А. Снижение гидродинамических помех гидрофонов вертикальной дрейфующей антенны // Збірник праць Акустичного симпозіуму “Консонанс-2005”. – Київ: ІГМ НАНУ, 2005. – С. 159-164.
7. Блохинцев Д. И. Акустика неоднородной движущейся среды. - М.: Наука, 1981. – 208 с.
8. Strykowski P. J., Sreenivasan K. R. On the formation and suppression of vortex shedding at low Reynolds numbers // J.Fluid Mech. - 1990. - 218. - P. 71-107.