

СНИЖЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОМЕХ ГИДРОФОНОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ДРЕЙФУЮЩЕЙ АНТЕННЫ

В.Т. ГРИНЧЕНКО, А.П. МАКАРЕНКОВ, В.А. ВОСКОВОЙНИК

*Институт гидромеханики НАН Украины
ул. Желябова, 8/4, 03680, Киев-180, ГСП, Украина
тел. (044) 456-43-13, 456-65-83; e-mail: vin-igm@gu.kiev.ua*

В работе представлены результаты экспериментальных исследований средств снижения гидродинамических шумов 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 чевицеобразный 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.

ВВЕДЕНИЕ

В практической гидроакустике широкое распространение получили автономные дрейфующие станции пассивного типа – радиогидроакустические буи [1–3]. В них для приема полезных сигналов используются линейные антенны с вертикально ориентированными дисковыми гидрофонами. Местоположение гидрофонов в антенне обеспечивается с помощью тонких элементов связи, гибких нитей, к которым крепятся сигнальные проводники. Вертикальное положение антенны во время дрейфа обеспечивается с помощью балласта, расположенного внизу антенны. Хотя скорости дрейфа невелики (до 0.5 м/с), однако, на ее плохообтекаемых элементах: гидрофонах, элементах связи и балласте формируется отрывное обтекание. Характерной особенностью такого течения является возникновение вихревых структур вблизи их поверхности, которые порождают нестационарные пульсации давления в жидкости. Они являются источниками псевдозвуковых гидродинамических помех, воспринимаемых приемными элементами антенны [4, 5]. Помехи распределены в широком диапазоне частот от единиц герца до нескольких килогерц, а их уровни превышают уровень полезного сигнала на (20–30) дБ, снижая эффективность гидроакустических систем. Поэтому задача снижения помех гидродинамической природы для таких антенн технически необходима и целесообразна. Она требует порой оригинальных и нетривиальных решений, т.к. не существует для конкретной антенны теоретических решений, которые позволяли бы оценить уровни помех и дать рекомендации по их снижению. Целью настоящей работы была разработка и экспериментальная проверка в контролируемых лабораторных условиях средств снижения гидродинамических помех гидрофонов вертикальной дрейфующей антенны. Основной идеей, используемой при создании средств снижения гидродинамических помех гидрофонов было целенаправленное уменьшение и перераспределение по спектру энергетических характеристик вихревых структур в потоке жидкости, возникающих при обтекании гидрофонов – источников турбулентных псевдозвуковых пульсаций давления.

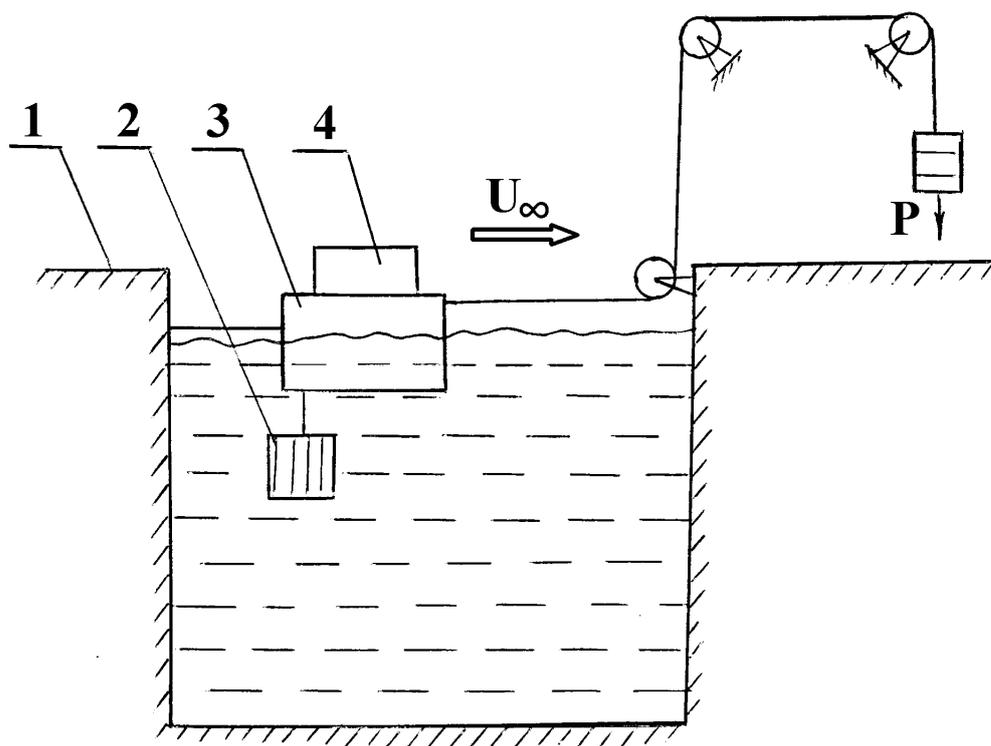


Рис. 1. Схема экспериментальной установки и системы гравитационной буксировки:
 1 – бассейн; 2 – модель антенны; 3 – плавучая платформа;
 4 – измерительная и регистрирующая аппаратура

1 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования по оценке эффективности средств снижения гидродинамических помех гидрофонов были выполнены в Опытном бассейне Института гидромеханики НАН Украины. Бассейн длиной 50 м, шириной 7 м и глубиной 3 м оборудован стендом для испытания гидроакустических устройств с малощумным гравитационным приводом и плавучей хорошообтекаемой платформой из звукопоглощающего материала [4], см., рис. 1. Модель антенны состояла из 6-ти однотипных дисковых гидрофонов диаметром 42 мм и толщиной 12 мм. Гидрофоны были подвешены в горизонтальной плоскости с помощью тонких нитей диаметром 0.3 мм в виде вертикальной гирлянды на расстоянии 180 мм друг от друга. Вверху и внизу антенны располагались блок предусилителей и балласт, соответственно. В качестве эталонной модели использовалась антенна, у которой гидрофоны не имели средств защиты. Средствами, снижающими гидродинамические шумы, использовались в процессе исследований обтекатели в виде: тонких колец, установленных посередине боковой поверхности гидрофонов, чечевицеобразные и флюгероподобные обтекатели, покрытые сетчатой капроновой оболочкой с ячейкой 5 мм. Конструктивное исполнение средств защиты гидрофонов показано на рис. 2, где: 1 – гидрофон, 2 – обтекатель. Модели антенн прикреплялись к плавучей платформе на тонких лонжах и буксировались в бассейне со скоростями от 0.1 м/с до 0.6 м/с. Сигналы гидрофонов усиливались электронными малощумными многоканальными усилителями и регистрировались с помощью магнитофона типа 7005А фирмы "Брюль и Кьер" который размещался на платформе. Последующий анализ сигнала был выполнен с помощью комплекса

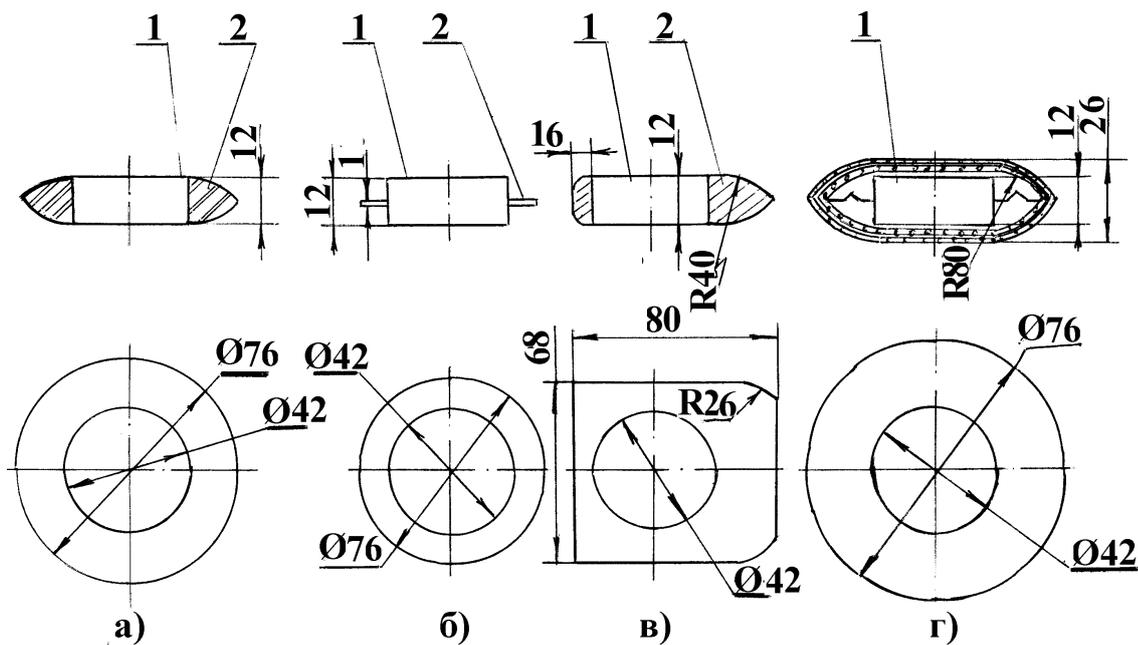


Рис. 2. Эскиз конструкции используемых дисковых гидрофонов и средств их защиты от гидродинамических шумов:

- а) чечевицеобразный обтекатель; б) кольцевой обтекатель; в) флюгероподобный обтекатель; г) гидрофон в сетчатой оболочке

спектроанализирующей аппаратуры, указанной фирмы.

Гидрофоны, перед проведением измерений калибровались в камере малого объема. Спектральные характеристики пульсаций давления регистрировались с погрешностью, не превышающей 2 дБ, в частотном диапазоне от 2 Гц до 1000 Гц.

2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предварительно проведенные измерения собственных шумов бассейна показали, что их уровни в исследуемом диапазоне частот находятся вблизи нижней границы превалирующих шумов моря (рис. 3). На приведенном рисунке по оси абсцисс отложена безразмерная частота $f_0 = f/1000$, а по оси ординат – уровни гидродинамических помех, регистрируемые гидрофоном в децибеллах (дБ). Цифрами 1 и 2 обозначены нижняя и верхняя границы превалирующих шумов моря, 3, 4 – шумы дальнего судоходства, 5 – шумы ближнего судоходства, 6 – шумы Опытного бассейна.

Исследованиями установлено, что обтекание потоком жидкости антенны без средств защиты приводит к увеличению гидродинамических шумов на (5–8) дБ при скорости 0.2 м/с и на (25–28) дБ при скорости 0.5 м/с (см., рис. 4 и рис. 5). На рис.4 приведены спектры гидродинамических шумов гидрофонов, обтекаемых потоком со скоростью 0.2 м/с, без средств защиты и с ними в диапазоне частот (10–1000) Гц. Здесь также изображены спектры мощности пульсаций давления звукового фона при нулевой скорости обтекания, регистрируемые гидрофонами. Кривая 1 соответствует шумам эталонных гидрофонов, кривая 2 – шумы с обтекателем чечевицеобразной формы, кривая 3 – шумы с кольцевым обтекателем, кривая 4 – шумы с флюгероподобным обтекателем, находящимся в мелкоячеистой сетке и кривая 5 – фоновый шум Опытного бассейна. Средства защиты, как видно из рисунка, оказывают вли-

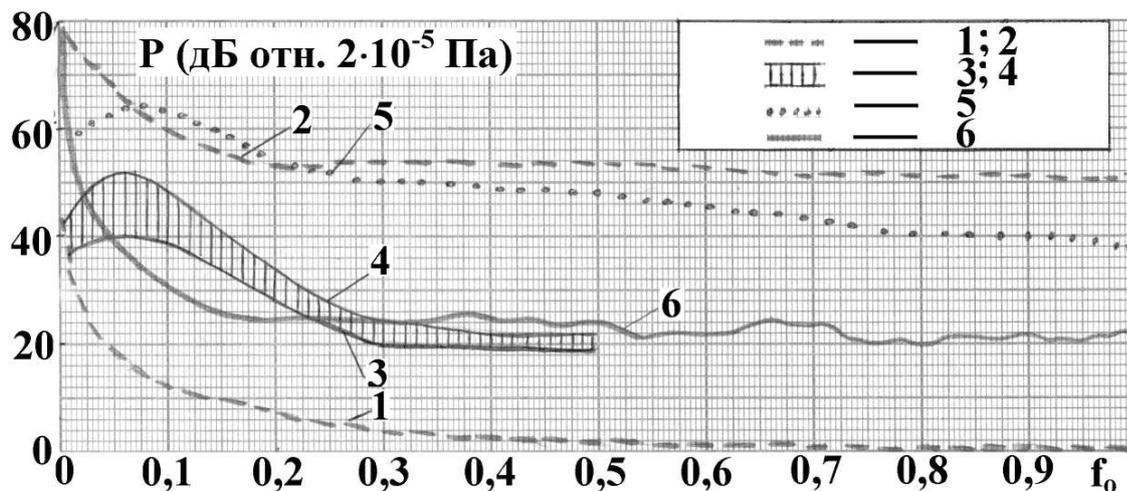


Рис. 3. Уровни превалирующих гидродинамических шумов моря и Опытного бассейна

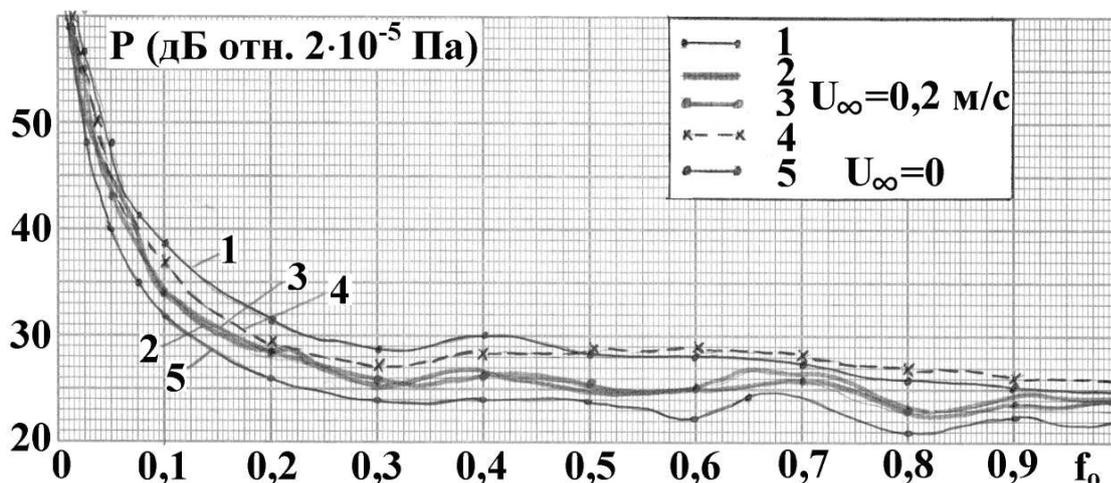


Рис. 4. Спектры мощности пульсаций псевдозвуковых составляющих гидродинамических шумов вертикальной антенны, буксируемой при скорости обтекания 0,2 м/с

яние на уровни помех – снижая их. Наиболее эффективными средствами защиты для данной скорости обтекания являются чечевицеобразные обтекатели, которые обеспечивают снижение шумов на величину до (6–8) дБ, практически, во всем исследуемом диапазоне частот. Близкий по величине эффект наблюдался при использовании в качестве средств защиты гидрофонов кольцевых и флюгероподобных обтекателей. Хотя флюгероподобные обтекатели показали незначительное увеличение помех до 2 дБ на частотах больших 500 Гц.

Повышение скорости обтекания от 0,2 м/с до 0,5 м/с приводят к существенному росту уровня спектральной составляющей гидродинамических помех гидрофонов. Как показали исследования наибольший эффект снижения гидродинамических шумов при скорости 0,5 м/с был получен при установке гидрофонов в флюгероподобные обтекатели покрытые сетчатой оболочкой (до 30 дБ на частотах от 100 Гц до 400 Гц), что наглядно видно из рис. 5 (кривая 4). На рис.5 нумерация кривых такая же, как и на рис. 4. В тоже время чечевицеобразный и кольцевой обтекатели снижали помехи только на (15–20) дБ (см., кривые 2 и 3 на рис. 5).

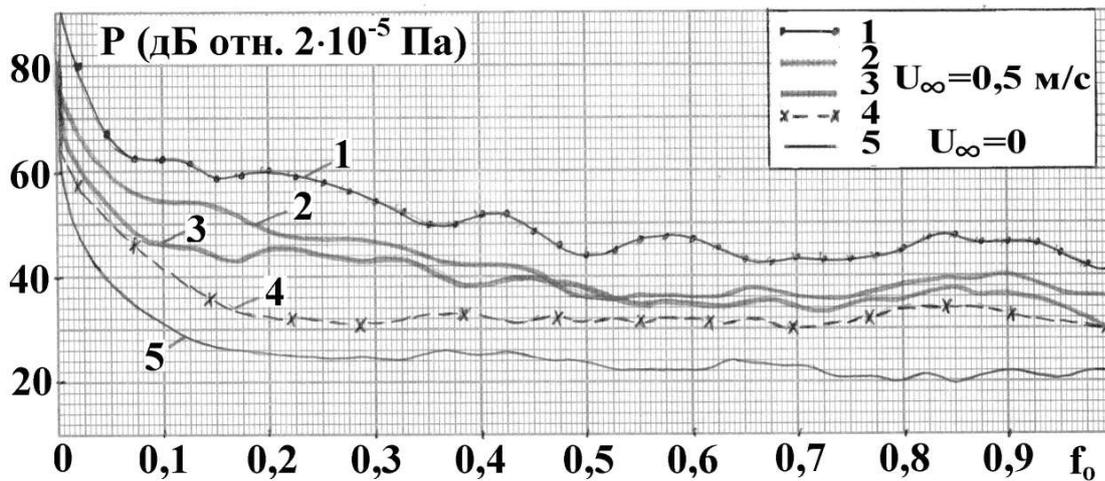


Рис. 5. То же, что и на рис. 4, но для скорости обтекания 0.5 м/с

Для более полного понимания процессов снижения гидродинамических помех гидрофонов необходимо рассмотреть физическую картину их обтекания. Обтекание дискового гидрофона, по своей сути, является трехмерным с отрывом потока. Такое течение формируется из области отрыва, возникающей на передней кромке диска и зоны присоединения ее к чувствительной поверхности гидрофона. Также нестационарного пограничного слоя, обширной зоны кормового отрыва пограничного слоя, боковых вихрей, порождаемых процессом перетекания погранслоев с плоскостей диска. Взаимодействие боковых крупномасштабных вихрей с кормовыми вихрями образуют след с нестационарным вихревым движением обтекающей жидкости, что приводит к генерации мощных псевдозвуковых пульсаций давления (гидродинамических шумов). Физические процессы возникновения гидродинамических шумов при отрывном обтекании достаточно обстоятельно изучены [5–7], главным образом, для двухмерных тел.

Эффективность обтекателей снижать гидродинамические шумы гидрофонов, по нашему мнению, может быть объяснена следующим образом. Установка гидрофона в хорошообтекаемый чечевицеобразный обтекатель, как показала визуализация течения, исключает переднюю зону отрыва. Кроме того существенно уменьшается интенсивность, масштаб боковых и кормовых вихревых структур, что благоприятно сказывается на уровне помех. Подобная картина, но менее выраженная, наблюдается и при использовании кольцевого обтекателя. Как установлено, при больших скоростях обтекания максимальное снижение шумов наблюдается при установке гидрофона в флюгероподобный обтекатель покрытый сетчатой оболочкой. В этом случае, наряду с эффектами уменьшения масштаба вихревых структур происходит турбулизация потока. Это приводит к трансформации крупномасштабных энергоемких структур в мелкомасштабные высокочастотные вихри, менее энергоемкие, что является причиной существенного снижения гидродинамических шумов. Результаты данных исследований указывают на сложность процессов генерации гидродинамических шумов при обтекании тел трехмерной формы и методов их снижения.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны и апробированы в лабораторных условиях средства снижения гидродинамических шумов дисковых гидрофонов, используемых в вертикальной дрейфующей

- антенны такие, как чечевицеобразный, кольцевой и флюгероподобный обтекатели.
2. Установлено, что при малых скоростях обтекания (0.1–0.2) м/с предпочтительно использовать чечевицеобразный обтекатель, который позволяет уменьшать уровень гидродинамических шумов гидрофонов на (6–8) дБ в диапазоне частот (10–800) Гц.
 3. При скоростях обтекания (0.4–0.5) м/с максимальный эффект снижения гидродинамических шумов гидрофонов (26–30) дБ в частотном диапазоне (100–400) Гц был получен при установке гидрофонов в флюгероподобные обтекатели, покрытые тонкой сетчатой оболочкой.
 4. Рассмотрена физическая модель процесса генерации гидродинамических шумов дисковых гидрофонов при отрывном обтекании, как со средствами защиты, так и без них.

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. *Колчеданцев 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 В. С.* Гидродинамические источники звука.– Л.: Судостроение, 1972.– 478 с.
6. *Блохинцев Д. И.* Акустика неоднородной движущейся среды.– М.: Наука, 1981.– 208 с.
7. *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.