

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ШУМЫ ГИБКОЙ ПРОТЯЖЕННОЙ БУКСИРУЕМОЙ АНТЕННЫ

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

*Институт гидромеханики НАН Украины
ул. Желябова, 8/4, 03057, Киев, Украина*

Приведены результаты экспериментальных исследований по изучению гидродинамических шумов на гибкой протяженной антенне. Показано влияние площади чувствительной поверхности акустического приемника на регистрируемое поле пульсаций давления. Представлены спектральные плотности мощности пульсаций псевдозвукового давления турбулентного пограничного слоя на поверхности антенны. Установлено, что конвективная скорость убывает с ростом частоты и диаметра антенны.

ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации гибких протяженных буксируемых антенн одним из основных источников помехи является гидродинамический шум. Гидродинамический шум в виде псевдозвуковых пульсаций давления, образуемых взаимодействием вихревых структур, формирующихся в пограничном слое, воздействует на гидроакустические приемники, находящиеся под обтекаемой поверхностью антенны. Псевдозвуковые пульсации давления во многом зависят от геометрических параметров антенны и качества обтекаемой поверхности, кинетических и динамических характеристик набегающего потока [1, 2]. Интегральные и спектральные характеристики гидродинамического шума отражают особенности поведения вихревых систем в пограничном слое, а также взаимодействие их между собой и обтекаемой поверхностью [3, 4].

Цель данного экспериментального исследования - изучить: статистические характеристики гидродинамического шума гибкой протяженной буксируемой антенны и определить влияние скорости обтекания и диаметра антенны на псевдозвук.

1 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования проводились на полигоне Института гидромеханики НАН Украины. Гибкая антенна, состоящая из трех секций: демпфирующей (ДС), холостой (ХС) и измерительной (ИС), буксировалась катером (К-р) (рис. 1) в канале длиной около 4 км. Антенна через обтекаемый нож (Н) крепилась к малошумному катамарану (К-н), который через капроновый фал (Ф) соединялся с катером. Глубина погружения антенны составляла 1,2 м и скорость буксировки в данных исследованиях была от 3 до 6 м/с. Кормовая часть антенны через удлинитель (Уд) крепилась к стабилизирующему устройству (СУ) и концевому устройству (КУ), обеспечивающих необходимое натяжение антенны и стабильный курс ее движения в гидродинамическом канале. Специально проведенные мероприятия по снижению уровней шумов буксировки антенны позволили проводить исследования в канале на уровне нижней границы превалирующих шумов моря [4, 5].

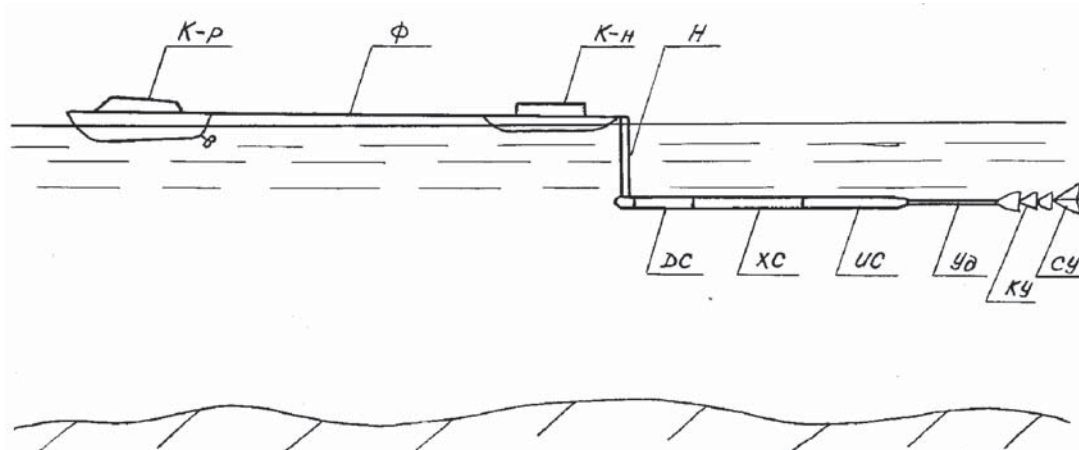


Рис. 1.

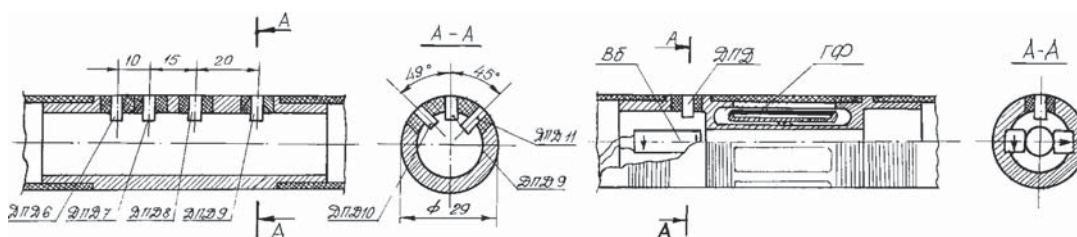


Рис. 2.

Антенна представляла собой воздухонаполненную полихлорвиниловую оболочку нейтральной плавучести длиной около 20 м. В специально изготовленных дюралюминиевых корпусах устанавливались заподлицо с обтекаемой поверхностью антенны пьезокерамические датчики пульсаций давления (рис. 2). Использовались датчики мембранного типа с диаметром чувствительной поверхности $d=1.6 \cdot 10^{-3}$ м. В измерениях датчики располагались как по одному в корпусе, так и в корреляционных блоках, которые находились в различных местоположениях по длине измерительных секций антенн. Наряду с датчиками пульсаций давлений псевдозвуковую составляющую гидродинамического шума исследовали с помощью гидрофонов, которые устанавливались в звукопрозрачных конструкциях под обтекаемой оболочкой антенны (см.рис. 2). Контроль вибраций антенны проводился посредством измерений виброакселерометрами, размещенных вдоль длины антенны и измеряющих все три компоненты виброперемещений антенны в пространстве. При анализе экспериментальных результатов в исследуемых полях пульсаций давления проводился учет вибрационной составляющей помехи. В экспериментальных исследованиях использовалось от 20 до 30 датчиков различных типов (датчики пульсаций давления (ДПД), гидрофоны (ГФ) и виброакселерометры (ВВ), установленных в измерительных секциях антенн трех внешних диаметров : $16 \cdot 10^{-3}$ м; $29 \cdot 10^{-3}$ м и $44 \cdot 10^{-3}$ м.

Измерения проводились при числах Рейнольдса по длине антенны $Re_x = xU_\infty/\nu$ от $1.5 \cdot 10^7$ до $1.2 \cdot 10^8$, по ее радиусу $Re_a = aU_\infty/\nu$ от $4.8 \cdot 10^4$ до $2.6 \cdot 10^5$ при поперечной кривизне антенны δ/a от 1.5 до 3.8, где : x - продольная координата вдоль антенны, U_∞ - скорость обтекания, ν - коэффициент кинематической вязкости, a - радиус антенны, δ - толщина пограничного слоя. Обработка и анализ результатов исследований проводились на комплексе специализированной аппаратуры фирмы Брюль и Кьер и универсальных вычислительных комплексах. Погрешность измерений интегральных характеристик не превышала 10 % с дове-

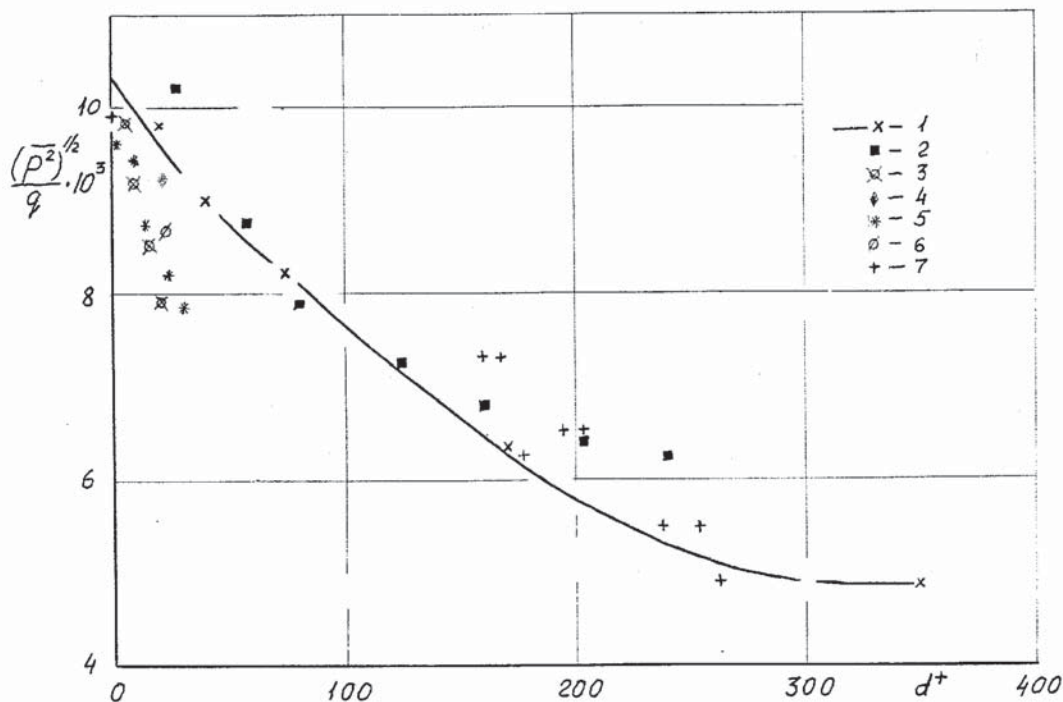


Рис. 3.

рительной вероятностью 0.95, а спектральных и корреляционных параметров полей пульсаций давления не более 2 дБ в частотном диапазоне от 2 Гц до 12.5 кГц.

2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Интенсивность поля псевдозвукового давления, регистрируемая датчиками пульсаций давления либо гидрофонами, во многом зависят от разрешающей способности датчиков. Увеличение чувствительной поверхности приемника приводит к сужению частотного диапазона регистрации сигналов, регистрируемого низкочастотным. Датчик работает как волновой фильтр по масштабам давлениеобразующих вихревых структур. Вклад мелкомасштабных вихрей, формирующих высокочастотную часть спектра, уменьшается, из-за интегрирующего эффекта чувствительной поверхностью датчика. Следовательно, миниатюрные датчики пульсаций давления регистрируют более высокие уровни поля псевдозвукового давления, поскольку они фиксируют сигнал, порождаемый как крупномасштабными вихревыми системами, так и мелкомасштабными вихрями пограничного слоя. Значения интенсивности пульсаций давления в виде $\sqrt{(p')^2}/(\rho U_\infty^2/2)$ в зависимости от диаметра чувствительной поверхности приемника $d^+ = du_\tau/\nu$, где u_τ - динамическая скорость, показаны на рис. 3. Здесь представлены результаты измерений, как для плоских пластин так и тел с поперечной кривизной, в том числе и для гибких антенн. Индексом 1 обозначены данные [6], 2 - [7], 3 - [8], 4 - [9], 5 - [10], 6 - [11], 7 - наши измерения. Из рис. 3 следует, что интенсивность поля пульсаций давления, регистрируемая на обтекаемой поверхности, составляет от 0.5% до 1% от скоростного напора потока, обтекающего антенну. При этом максимальные уровни гидродинамического шума регистрируются точечными датчиками.

Спектральная плотность мощности пульсаций давления, оберазмеренная внешними пе-

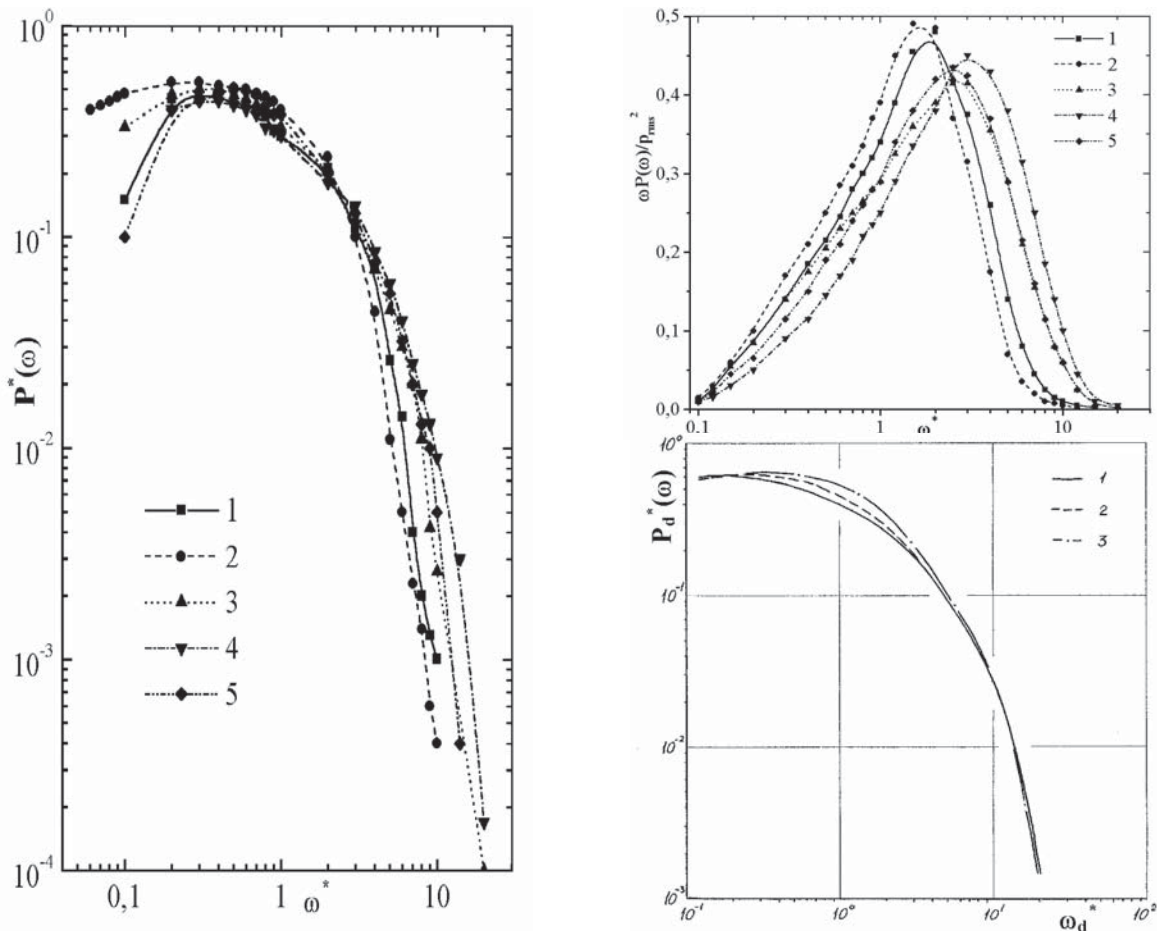


Рис. 4.

ременними δ^* и U_∞ представлена на рис. 4а. Кривая 1 - данные [9] для жесткого цилиндра кривизной $\delta/a = 4.81$, измеренные датчиками $d^+ = 22$ при числе Рейнольдса, определенного по толщине потери импульса $Re_\theta = \theta u_\tau / \nu = 2530$; Кривая 2 - данные [12] для пластины, полученные при $Re_\theta = 3386$ и датчиком $d^+ = 33$; Кривая 3- результаты [10] для пластины при $Re_\theta = 7076$ и $d^+ = 26$. Кривые 4 и 5 получены нами на гибкой буксируемой антенне диаметром $29 \cdot 10^{-3}$ м при скоростях обтекания 3 и 5 м/с, которым соответствуют значения $\delta/a = 3.04$; $d^+ = 170$; $Re_\theta = 17800$ и $\delta/a = 2.49$, $d^+ = 260$; $Re_\theta = 24300$. Из результатов, представленных на рис. 4а следует, что пограничные слои на плоской поверхности более насыщены низкочастотными крупномасштабными вихревыми системами.

На рис. 4б показан удельный вклад различных частотных компонент в полную энергию гидродинамического шума, регистрируемый на плоских и криволинейных поверхностях. Обозначение кривых на этом рисунке соответствует данным рис. 4а. С увеличением гибкости цилиндра пограничный слой насыщается более мелкомасштабными вихрями, но с увеличением скорости обтекания максимальный вклад смещается в область низких частот. Это обусловлено эффектом интегрирования высокочастотных пульсаций давления чувствительной поверхностью датчика.

С увеличением диаметра антенны наблюдается смещение максимума спектральной плотности мощности пульсаций давления в область высоких частот (рис. 4в). На этом рисунке приведены для $U_\infty = 4.0$ м/с и кривая 1 соответствует антенне диаметром $16 \cdot 10^{-3}$ м, кривая

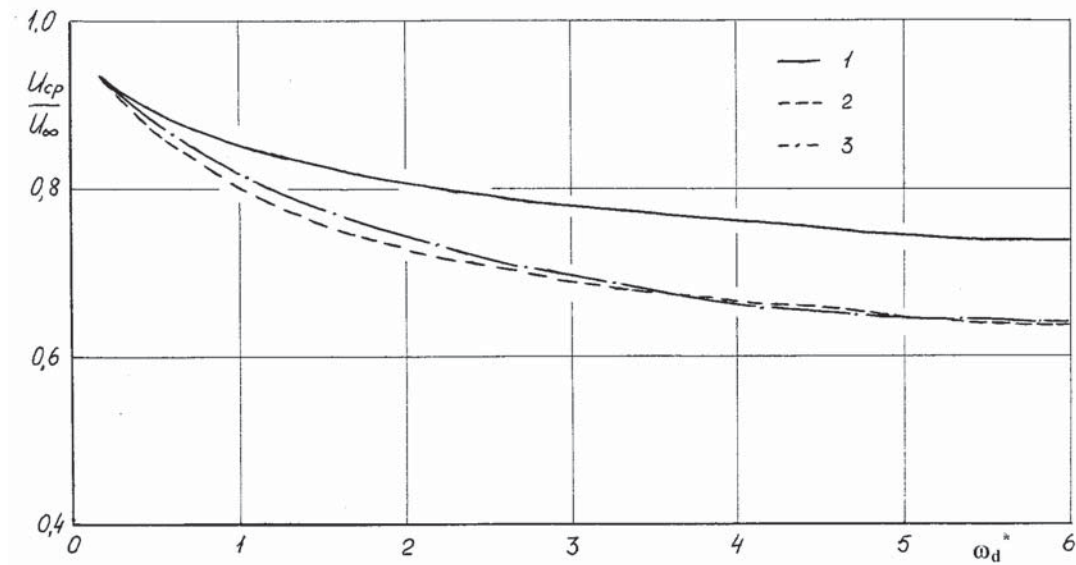


Рис. 5.

2 - $29 \cdot 10^{-3}$ м и кривая 3 - $44 \cdot 10^{-3}$ м.

При исследовании пространственно-временных характеристик гидродинамического шума пограничного слоя, образованного на антенне, установлено, что коррелированность сигнала между двумя датчиками, расположенными вдоль цилиндра, для гибкой антенны выше, чем для жесткого цилиндра, но ниже, чем для плоской пластины. Скорость переноса когерентных вихревых систем в пограничном слое на гибкой антенне выше, чем на жестком цилиндре и на пластине.

Исследование взаимных спектральных характеристик показало, что максимум функции когерентности наблюдается на частотах порядка $(0.2 \dots 0.3)\omega_d^*/U_\infty$, что согласуется с данными, представленными на рис. 4. Монотонное нарастание фазы взаимного спектра с частотой позволило определить фазовую конвективную скорость. Изменение фазовой конвективной скорости от частоты показано на рис. 5 для трех исследуемых диаметров антенны и скорости обтекания 3 м/с. Кривая 1 получена для диаметра антенны $16 \cdot 10^{-3}$ м, кривая 2 - для $29 \cdot 10^{-3}$ м и кривая 3 - для $44 \cdot 10^{-3}$ м. С увеличением частоты и диаметра антенны фазовая конвективная скорость убывает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные результаты по изучению гидродинамического шума, образуемого при обтекании протяженной гидроакустической антенны, показали:

1. Интенсивность регистрируемых пульсаций пристеночного давления зависит от диаметра чувствительной поверхности датчика.
2. Спектральная плотность мощности псевдозвуковых пульсаций давления с увеличением поперечной кривизны возрастает в высокочастотной области.
3. Максимум спектральной плотности с ростом диаметра антенны смещается в область высоких частот.
4. Фазовая конвективная скорость убывает с возрастанием частоты и диаметра антенны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Петровский В. С.* Гидродинамические проблемы турбулентного шума.– Л.: Судостроение, 1966.– 252 с.
2. *Смольяков А. В., Ткаченко В. М.* Измерение турбулентных пульсаций.– Л.: Энергия, 1980.– 264 с.
3. *Bull M. K.* Wall-pressure fluctuations beneath turbulent boundary layers: Some reflections on forty years of research // *Sound Vibr.*– 1996.– V.190, N 3.– P. 299–315.
4. *Воскобойник В. А., Гринченко В. Т., Макаренко А. П.* Корреляционные характеристики поля пульсаций пристеночного давления турбулентного пограничного слоя, образованного при продольном обтекании гибкого цилиндра // *Прикладна гідромеханіка.*– 2001.– Т.3, N 2.– С. 10–14.
5. *Воскобойник В. А., Гринченко В. Т., Макаренко А. П.* Виброакустические характеристики протяженной антенны, обтекаемой под углом атаки // *Труды 5-й Междунар. конфер. по проблемам колебаний, 8–10 Октября 2001.*– Москва (Россия).– 2001.– С. 172–175.
6. *Shewe G.* On the structure and resolution of wall-pressure fluctuations associated with turbulent boundary-layer flow // *J. Fluid Mech.*– 1983.– V. 134.– P. 311–328.
7. *Langeheineken T., Dinkelacker A.* Wanddruckschwankungen einer ausgebildeten, turbulenten Rohrströmung // *DAGA'78, Fortschritte der Akustik.*– VDE-Verlag: Berlin, 1978.– P. 391–394.
8. *Andreopoulos J., Agui J. H.* Wall-vorticity flux dynamics in a two-dimensional turbulent boundary layer // *J. Fluid Mech.*– 1996.– V. 309.– P. 45–84.
9. *Bokde A. L. W., Lueptow R. M., Abraham B.* Spanwise structure of wall pressure on a cylinder in axial flow // *Phys. Fluids.*– 1999.– V. 11, N 1.– P. 151–161.
10. *Gravante S. P., Naguib A. M., Wark C. E., Nagib H. M.* Characterization of the pressure fluctuations under a fully developed turbulent boundary layer // *AIAA J.*– 1998.– V. 36, N 10.– P. 1808–1816.
11. *Snarski S. R., Lueptow R. M.* Wall pressure and coherent structures in a turbulent boundary layer on a cylinder in a axial flow // *J. Fluid Mech.*– 1995.– V. 286.– P. 137–171.
12. *Farabee T. M., Casarella M. J.* Spectral features of wall pressure fluctuations beneath boundary layers // *Phys. Fluids.*– 1991.– 3, N 10.– P. 2410–2420.